

ASTRONOMY FOR EVERYBODY

通俗天文学

和宇宙的一场对话

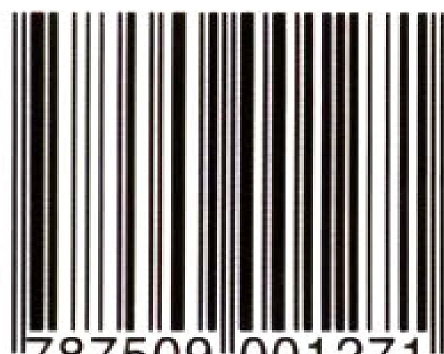
[美]西蒙·纽康 ◇著 金克木 ◇译

当代世界出版社



一位科普作者如想不用专门语言来陈述天文学中的事实，他便会发觉自己处于两难的境地：或者不得不将主题说成一个很不完全的概念，或者进而解释力与运动，而可能使他的读者感到厌烦。本书的著者采取一种折衷的办法来对付这种困难：一方面试图竭力做到使所有读者都能了解而且感兴趣，一方面也加入一些专门的解释——但只当为彻底了解某些事实而不得不为之时才这样做。对于那些不愿彻底了解这些细节的读者，希望你们也能在书中对天文现象的描绘与叙述中得到不少的乐趣。

——西蒙·纽康



ISBN 7-5090-0127-7/P·001
定价：30.00元

ASTRONOMY FOR EVERYBODY

通俗天文学

和宇宙的一场对话

[美] 西蒙·纽康◇著 金克木◇译

当代世界出版社

图书在版编目(CIP)数据

通俗天文学/(美)纽康著;金克木译.—北京:当代世界出版社,2006.9
ISBN 7-5090-0127-7

Ⅰ.通… Ⅱ.①纽…②金… Ⅲ.天文学—普及读物
Ⅳ.P1-49

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第094633号

通俗天文学

[美]西蒙·纽康 著　金克木 译

策　　划　宗平
责任编辑　高玉琪
封面设计　亿点印象工作室
版式设计　塔院书林出版工作室
出版发行　当代世界出版社
社　　址　北京市复兴路4号(100860)
网　　址　http://www.worldpress.com.cn
编务电话　(010)83908400
发行电话　(010)83908408　83908409　83908410(传真)
经　　销　全国新华书店
印　　刷　北京精彩雅恒印刷有限公司
开　　本　690mm×970mm　1/16
印　　张　15.5
字　　数　260千字
版　　次　2006年9月第1版
印　　次　2006年9月第1次印刷
书　　号　ISBN 7-5090-0127-7/P·001
定　　价　30.00元

宇宙原是个有限的无穷。

人类恰好是现实的虚空。

只有那无端的数学法则，

才统治了自己又统治了一切。

——金克木

出版说明

出版《通俗天文学》是因为它是一本非常"传奇"的书。

说它传奇，是因为它的作者西蒙·纽康（Simon Newcomb）教授是个传奇人物。美国总统林肯于1861年委任他为美国海军的数学教授。《大英百科全书》说："纽康肯定是那个时代最显赫的天文学家之一。"而且，这位大名鼎鼎的纽康教授一生著作颇丰，涉猎广泛，绝对不是个把学问做死了的学究，而是深入浅出地把学问做活了的明白人。

说它传奇，是因为它的译者金克木先生是个传奇人物。金克木先生是靠勤奋自学成杂家的奇才，学贯东西、融通古今、博通文理、精通多国语言，而且健谈、多闻、敏锐。他对知识掌握深刻，见地独特。从本书的译文中我们可以发现，金克木先生的翻译让浩瀚的宇宙、神秘的星辰更加清晰明了地展现在我们眼前。

本书第三个传奇之处在于它的引进、翻译过程。当年金克木先生对天文学发生兴趣，遂选定此书着手翻译，并痴迷其间。为此诗人戴望舒特意到杭州西湖孤山俞楼去看望他，力劝金克木先生放下对星空的兴趣，转回语言研究。于是，世界上少了一位天文学家，多了一位语言大师。

除了这些传奇之处以外，这本《通俗天文学》能长销不衰的原因还有它文字的流畅、描述的形象、内容的及时更新。我们请了北京大学天文学系的吴飞先生和热诚的天文爱好者朱睿竑先生、段建新先生对此书进行了仔细的修订、更新，大量现代知识的补充能适应现代读者的需求，使这本《通俗天文学》在今日的夜空中仍能放射出耀目的光彩。在此，特意向他们致谢，也向那些默默致力于天文学研究、为我们提供广博知识的科技工作者致谢。读者看到的书中黑色的字，即是纽康教授著、金克木先生翻译的原文，而蓝色的字则是后来者做的工作。

最后，引录金克木老先生在1996年11月1日写的《闲话天文》（收在东方出版社1998年10月出版的金克木先生个人专集《庄谐新集》里）作为结尾：

清初顾炎武的《日知录》大概是从前研究学问的人必读的。记得开篇第一条便是“三代以上人人皆知天文”，举了《诗经》的例证。现在人还需要提倡“人人皆知天文”吗？

不过我仍然认为，至少是读书人，现在也是有点天文常识、看点通俗天文书为好。从我的微薄经验说，看天象、知宇宙，有助于开拓心胸。这对于观察历史和人生直到读文学作品、想哲学问题，都有帮助。心中无宇宙，谈人生很难出个人经历的圈子。有一点现代天文常识才容易更明白：为什么有些大国掌权者不惜花重金去研究不知多少万万年以前发生而现在光才传到地球的极其遥远的银河外星系、超新星、黑洞等等。这些枯燥的观察、计算、思考只要有一点前进结果，从天上理论转到地上实际，就会对原子爆炸、能源危机产生不可预计的影响。最宏观的宇宙和最微观的粒子多么相似啊！宇宙的细胞不就是粒子吗？怎么看宇宙和怎么看人生也是互相关联的。有一点宇宙知识和没有是不一样的。哪怕是只懂小学生课本里的那一点点也好。古时读书人讲究上知天文下知地理，我看今天也应当是这样。不必多，但不可无。

我还想提一点是近代和现代天文学发展历史的通俗化。这会有助于破除流行的不准确认识。例如日心说和地心说是早就有的，困难在于科学论证。哥白尼神父有了第一次大成功，但完成还在开普勒的算出行星轨道。尽管人已能飞出地球、行走在太空，但太阳系里还有不少难题。牛顿对神学是有兴趣的，科学和宗教是两回事。科学可以研究宗教，但不能消灭人的信仰。要用科学实验破除迷信也不容易，还需要破除迷信中的心理因素和社会因素，如此等等。要知道历史事实，知道科学进步非常困难，科学家是会有牺牲的。

我想现在一定出了不少讲新天文学成就的通俗易懂的好书，可惜我不知道。希望读书人不妨翻阅一下，可能比有些小说还要有趣。

译者序

金克木

译这本书的动机很简单：国内近年来天文学方面的书籍虽然比从前较多，却大都是谈谈星座以及一些新的发现，要不就往往过于专门，似乎还缺少一本较有系统而又不是课本的通俗天文学。这本书恰好够这条件，也正可以弥补我们的不足，因此译者不揣谫陋做了这件工作。

译本的体例也很简单：只是把原文一句句改写成中文而已。专门名词则一律遵照教育部公布的《天文学名词》和《物理学名词》。

关于原书著者已有专篇介绍，兹不赘述。

至于译者所犯的不自知的错误就只有敬候高明的指教了。

关于原著者

《通俗天文学》（Astronomy for Everybody）自出版以来便成为最受欢迎的科普读物之一，仅初版在美国就已销售了5万册以上，此外还有英国版以及多种外文译本。

本书著者西蒙·纽康（Simon Newcomb）教授于1835年3月10日生于加拿大的新斯科舍省（Nova Scotia），1909年7月11日卒于华盛顿哥伦比亚特区（Washington D.C.）。其祖先为马萨诸塞（Massachusetts）和马里兰（Maryland）一带殖民地的早期移民。作为一个乡村教师的长子，他自幼便自谋生计。在美国定居并教了几年书之后，经过刻苦自修，他成为哈佛大学劳伦斯理学院（Lawrence Scientific School of Harvard）的计算员和学生。1858年毕业并获得理科学士学位。24岁时，作为一名年轻的大学毕业生，他已因小行星轨道的计算而声名大噪。该项工作的结果证明：当时天文学家提出的关于小行星来历的解释是错误的。

美国总统林肯（President Lincoln）于1861年委任他为美国海军（U.S. Navy）的数学教授。他担任此职直至去世，级别相当于海军后方司令。他一直住在华盛顿，在海军天文台（Naval Observatory）进行了16年的天文观测，并从事数学研究。1877年他的观测工作结束，遂担任美国星历表（American Ephemeris）及航海历书编纂部门的总监督。该部门每年出版一些主要星表、日月食的材料，以及其他对天文学家有价值而航海家必需的资料。当时另有四个国家的政府也出版同类东西，但在天文学的基本要素及常数方面，彼此间还存在着有害的差异，因此纽康教授便担任起全部校订及计算天体运动新表的工作。

关于这件在标准化方面前所未有的巨大工作，《大英百科全书》中曾说“楷莱（Cayley 当时英国最大的数学家）把完成一颗行星的各种表格说成‘天文学的最高成就’，然而纽康计划并且进行了二十余年之久的巨大任务，却是在绝对同一的基础上建立起全部行星系统的理论与表格。”这件工作所建立的标准被各国天文学家采纳，并成为当今航海与航空的精确基础。

“纽康教授的最大成就之一是他关于月球运动的理论方面的探究”，从1868年直到晚年，他用了最大努力进行这项工作。《大英百科全书》还说：“‘甚至’他关于这一难题的最早期工作……已经由于其勇敢的思想而值得注意，而且已成为对天体力学的重要的补充了。” 为建立这件工作的基础，他曾收集欧洲各天文台和图书馆中关于月球的观测记录，“所集年代有上下两千六百年之多”。

“考虑到他的工作范围之广泛、研究性质之重要，论及问题之丰富，以及他对目标秉持到底始终不懈的追求，纽康肯定是那个时代最显赫的天文学家之一。”

纽康教授从不慌忙、从未放弃每天长时间的散步，然而凭着他始终如一的努力，他竟有充分的时间去思考，去写作。以致他的著作（书籍与论文）题目竟能包括541种之多、所论及的范围又异常的复杂，其中包括财政学（这也是他精通的），甚至还有小说。他经常旅行，一则为了休息娱乐，一则也为了天文学上的目的，例如观测日食和行星凌日，视察海军天文台和加利福尼亚的里克天文台的望远镜的建立，甚至于俄国天文台的望远镜玻璃的制造。

在约翰·霍普金斯大学（Johns Hopkins University）的早期9年中，他还是那儿的数学和天文学教授，每星期去巴尔的摩（Baltimore）上两次课。

他去世后，人们出版了一本记录他一生获得的科学荣誉的清单，其中有17个欧美著名大学的名誉学位，许多外国政府的高级勋章，以及全世界所有主要科学团体纪念章和名誉会员资格。

著名天文学家康贝尔（W. W. Compbell）教授在一篇简短的纽康教授传中曾称其为“智慧方面的巨人”，还说：“纽康教授所得到的天文学中的极高位置可以由他所得到的荣誉清单恰当表示出来。他的工作，为孜孜不倦的精力所推动，为哲学的明智所导引，历时半世纪多，使他得以置身于美国同行之首，而且列身于横亘世界、纵越古今成就最多的一小群天文学家之中”。

自本书第一版出版以来，天文学界中又有了许多重要的发现。此次新版已完整校补一遍，以求包罗新知而跟上时代。校补者为伊利诺伊大学天文台（Illinois University Observatory）的贝克（Robert H. Baker）教授。他曾是纽康博士的弟子，自己也是一位卓越的天文学家，所以是完成这项工作的最合适的承担者。《通俗天文学》在新装之下也就成为加在这具有普遍吸引魔力的标题上的最新且最有力的一笔了。

关于译者

金克木，字止默，笔名辛竹，1912年8月14日生于江西，祖籍安徽寿县。中学一年级就失学。1935年到北京大学图书馆做图书管理员，自学多国语言，开始翻译和写作。1938年任香港《立报》国际新闻编辑。1939年任湖南桃源女子中学英文教师，同时兼任湖南大学法文讲师。1941年先生经缅甸到印度，在加尔各答游学，兼任《印度日报》及一家中文报纸编辑，同时学习印度语和梵语。1943年到印度佛教圣地鹿野苑钻研佛学，同时学习梵文和巴利文，走上梵学研究之路。1946年回国，应聘武汉大学哲学系。1948年后任北京大学东语系教授。2000年8月5日，因病在北京逝世，临终遗言："我是哭着来，笑着走。"

金克木是举世罕见的奇才。凡是和金克木先生有过接触的人无不对他的健谈、博学、多闻、敏锐留下深刻的印象。他精通梵语、巴利语、印地语、乌尔都语、世界语、英语、法语、德语等多种外国语言文字。他曾仅靠一部词典，一本凯撒的《高卢战纪》，就学会了非常复杂的拉丁文。他的日语也很不错。金克木学贯东西、知兼古今，学术研究涉及诸多领域，自己在生前也自称是"杂家"。他除了在梵语文学和印度文化研究上取得了卓越成就外，在中外文化交流史、佛学、美学、比较文学、翻译等方面也建树极高，为中国学术事业的发展作出了突出贡献。

金克木自然科学的素养亦不低。他对天文学有特别的兴趣，不仅翻译过天文学的著作，还发表过天文学的专业文章。30年代，戴望舒非常欣赏金克木的作品，硬是将当时痴迷天文学的先生从天文学拉回文学。对此，金克木还颇有遗憾，曾在一篇随笔中怅然道："离地下越来越近，离天上越来越远。"数学也一直为他所好，他曾津津有味地钻研过费尔马大定理，临终前写的一篇文章中还涉及高等数学的问题。先生早年即同数学大家华罗庚很谈得来，华先生也是文理兼通。他还曾和著名数学家江泽涵教授在未名湖畔边散步，边讨论拓扑学的问题。他还曾就具体的数学问题请教过丁石孙先生，并能从丁先生的解释中判断出他所擅长的数学研究领域。

知识带给我们光明，但启发我们自己睁眼看世界的，是先生积极、开放、热诚的生命态度，对世界和人生的探究与思考，以及他深峻的智慧。

金先生有一颗童心，对一切新鲜的东西都抱以开放的态度，85岁学习使用电脑写作和传稿即是一例。“文革”前他去北大图书馆借书都是拖着小车去拉的，“文革”后体力大不如前，但却始终关心国际学术的最新发展。在国内还少有人提及诠释学和符号学的时候，他已经在撰文介绍，并将它们用于研究中国文化。先生晚年虽出行不便，但他对新思想、新事物，对社会和时代的变革，无不具有深入了解与思考，对许多社会现象都有深刻绝妙的认识、议论。

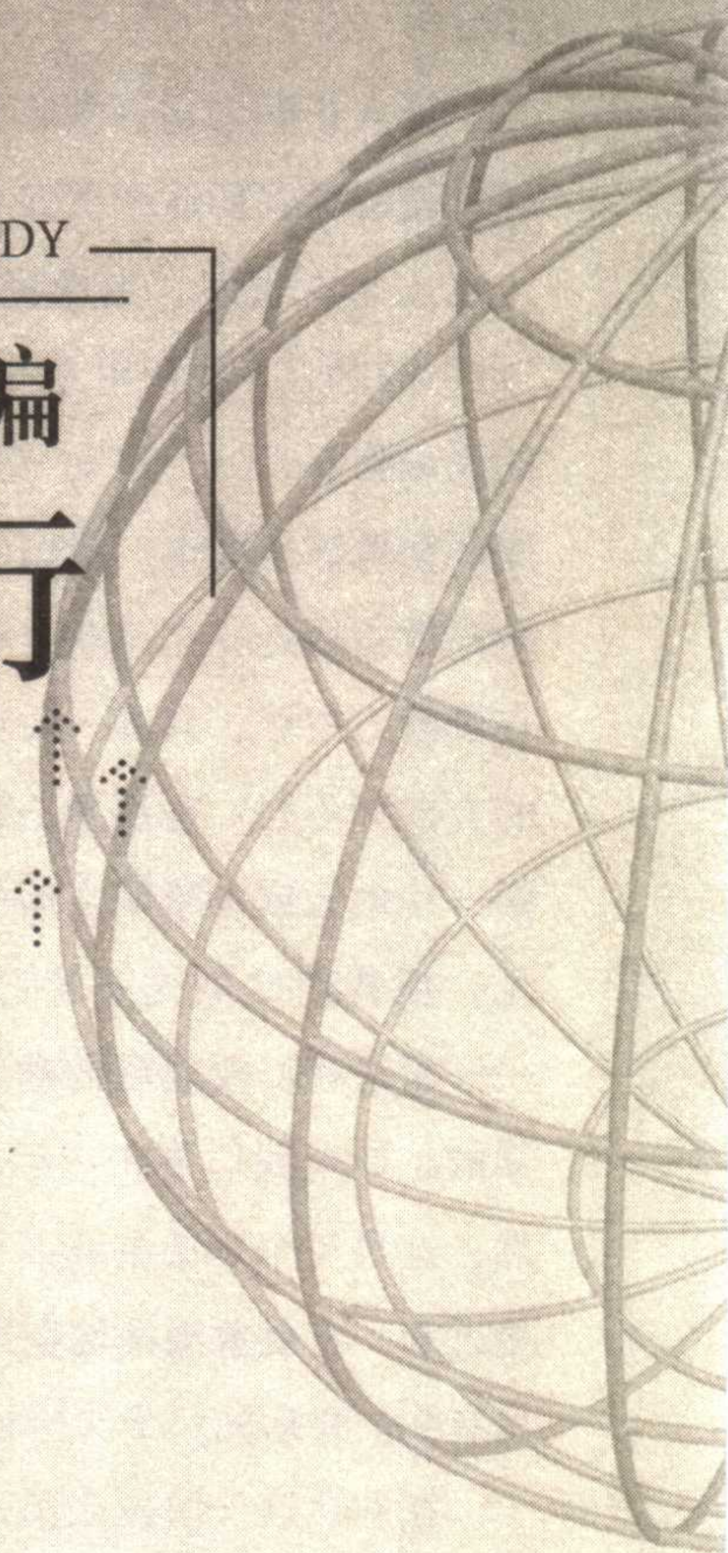
现在，我们可以在他的著书里看到这些。金克木先生留下学术专著三十余种，主要有：《梵语文学史》、《印度文化论集》、《比较文化论集》等等。他的诗、文，文笔清秀，寓意深刻，发人深省。有诗集《蝙蝠集》、《雨雪集》，小说《旧巢痕》、《难忘的影子》，散文随笔集《天竺旧事》、《燕口拾泥》、《燕啄春泥》、《文化猎疑》、《书城独白》、《无文探隐》、《文化的解说》、《艺术科学旧谈》、《旧学新知集》、《圭笔辑》、《长短集》等。翻译作品《伐致呵利三百咏》、《云使》、《通俗天文学》、《甘地论》、《我的童年》、《印度古诗选》、《莎维德丽》等。

目录

ASTRONOMY FOR EVERYBODY

第一编

天体的运行



第一章　我们的星辰系统



进入主题之前，我们不妨先在我们生存的这个空间中很快地旅游观光一下，这样就会对我们这个世界有一个大致的了解。幻想一下我们是从它们边界之外的一点上来看它们。当然我们要把这一点定得异常遥远。为了很清楚地得到这个“远”的概念，我们用光的运行来测量一下。于是我们非常幸运地雇佣了一个免费的飞毛腿佣人——光——每秒钟差不多能急行 30 万千米，在钟表的两声滴嗒之间要环绕地球 7 圈半。我们所选定的那一点如果很适当的话，那么它和我们之间的距离就需要光行走 100 万年了。我们在那么遥远的一点上几乎被完完全全地包围在黑暗之中了，只有一片漆黑无星的天空从各方向环绕着我们。可是，有一特殊的方向却不然：在那里，我们可以看到一大块微弱的光占据着天空的一部分，正像一片微云或者黎明之前的暗淡的曦光一样。在别的方向也有同样的光斑可以看见，但我们此刻先不管它。上面所说的这一片光，也就是所谓“我们的星系”——才是我们要观测的对象。于是我们向它飞行过去——要飞得怎样快是可想而知的。如果我们要在一年之内达到，就非得比光的速度更快 100 万倍不可——当然，这只是个思维游戏而已，事实上，没有任何东西是可以快过光的——我们愈接近它，它就愈渐渐地在黑暗的天上展开来，直到后来把全天的一半都遮盖住了，只有我们背后的一半天空还是照旧漆黑。

在到达这一阶段之前，我们已经能看见这一大团美丽的光雾中开始幻化出一些珍珠般的小光点在各处闪烁了。我们一面继续我们的飞行，一面便看到这些光点愈来愈多，并且从我们身边经过、在我们身后的远处消失，而许多新的光点又不断地迎上前来，正好像是火车中的乘客看到风景、房屋从旁奔驰过去一样。当我们深入其中的时候，就看出这些光点正是我们在夜间所看到的那些散布全天的星辰。我们若用这样幻想的高速穿过整个大光云，会发现熙熙攘攘的光云之外还

是什么别的也没有——除了各种色彩和形状的光雾、光云零零落落挂在黑天鹅绒般的空中。

但我们并不急于穿过那片美丽的光云，而是先选定一颗星，再减小我们的速度来更仔细地观察它。这颗星倒是并不大，可是我们愈接近它，它便在我们眼中愈加明亮起来。过了一段时间，它已亮得如同远处的烛光一样了。再过一段时间，它可以照出影子来了；再过一段时间，我们可以用它的光读书了；再过一段时间，它的光芒夺目，热力四射。现在看起来它像个小太阳——它可不正是我们的太阳么！

我们再选定一个位置：这地方按我们刚才的旅程来说仅仅是在太阳附近，但按照我们普通的量度来说却已在几十亿千米以外了。现在我们再仔细看一看周围，便可看到9颗星状的光点围绕着太阳，但各有不同的距离。如果我们用相当长久的时间守望着它们，便会看出它们都在绕着太阳运行，但环绕一周的时间又各不相同，有的只用3个月，有的却需要250年。它们之间的距离远近也大不相同，最远的一颗离太阳比最近的一颗要远上100倍。

这些星状的东西都是行星。我们更小心地考察一下，便会知道它们与恒星不同之处是：它们都是黑暗物体，它们的光统统都是向太阳借来的。

我们再访问一下其中的一颗星。按照离太阳由近到远的次序，我们选第三颗。我们愈向它行近（这方向我们可以说是由上而下，就是说与从它到太阳的直线成直角。）便看见它愈大愈亮。当我们离它非常近的时候，它的形状便好像半明半暗的月亮了——其中一半在黑暗中，另一半被太阳的光辉照亮。我们再接近些，被照亮了的一部分，在我们眼中不断扩大着，并渐渐有了许多的斑点。再扩大一些，这些斑点便化成了海洋和大陆，其中大约有一半被云遮住而看不到表面；而暗的那一部分，却呈现出一些不规则分布的明亮的斑点，似乎是钻石上闪耀的光芒一样——这些是我们人类的杰作：城市通宵不眠发出的各色灯光。我们所注目的这一块表面在我们面前不断地扩大，渐渐地遮蔽了更大的天空，到后来我们看出它成了全部世界。我们落在上面，于是现在我们又回到地球上了。

就像这样，我们在天空中飞行时肉眼绝对看不见的一点，在我们接近了太阳时就成为一颗星，再接近一些就成为一个不透光的球体，现在则是我们生存的地球了。

这一次幻想的飞行使我们知道了一个重要的事实：在夜间天空上散布着的大

群星辰都是太阳。换句话来说，太阳只是众星之一。跟这些同伴比起来，太阳倒是较小的一个，因为我们知道还有许多星要发出比太阳多出几千倍甚至上万倍的光和热。如果只从它们内在的固有的价值来评定群星，我们的太阳实在没有什么杰出的地方足以超过它的亿万同胞。它对于我们的重要性以及它在我们眼中的伟大都只是由于我们与它的一种偶然的关系而已。

刚才我们描述了这一伟大的星辰系统。我们从地面上看来正和我们刚才在幻想飞行中后半程所见的一样，在我们现在的天空中散布着的正是我们在飞行中所见的那些星辰。我们从现在的位置来瞭望天空，跟我们从远处群星间某一点来观察天空，其间的最大不同只是太阳和行星的优越地位。太阳的光芒竟使它在白昼遮掩了天上的全部星辰。假如我们能够截去太阳的光芒，便一定会看到星辰昼夜都在空中运行。这些物体散布在我们周围各个方向，简直好像地球巍然居于宇宙的中心一样——这也正是我们祖先所臆测的一种情形。

太阳系

我们所居住的这个星系同其他绝大多数星系一样，有一颗巨大的主星为中心，四周环绕着它的一群从仆。这以太阳为中心组成的一个小小群体——我们称为太阳系。我想先让读者们记住这一系统的一个特色：比起众星之间令人咋舌的距离，它的范围简直是太渺小了。太阳系周围被空洞而辽远的巨大空间包裹着。即使我们能从太阳系的这一边横渡到那一边去，我们也不会把眼前的星星看得更近些；在太阳系边缘，我们看到的星座形状与地面所见没有什么不同。

我在这里并不打算用一大堆巨大到已经让我们失去概念的数字来打扰我亲爱的读者。更实际一点的是请大家跟着我的描述来想象，以便读者们能理解我们在宇宙中的真实地位。先想象在宇宙模型中，我们所居住的地球用一粒芥子来代表。照这比例推下去，月亮便是只有芥子直径 1/4 大的一粒微尘，放在离地球 2.5 厘米远的地方。太阳则可以用一个大苹果来代表，放在离地球 12 米的地方。其他行星的大小各不相同，约从一粒不可见的微尘到一粒豌豆那么大，离太阳的平均距离也差不多是 4.5~540 米之间。于是我们又要想象着这些小东西都慢慢地各自围绕太

阳兜着不同的圈子，每圈所用的时间也大不相同，约从3个月到250年不等。既然这粒芥子是一年之间兜一个圈子，我们也必须想象月亮是陪着它走，而且每一个月也绕着它兜一个圈子。

照这比例，整个太阳系便可以在不到2.6平方千米的范围内摆下了。在这范围以外，即使我们跑出比全美洲还要大的地面去看也看不到什么东西，除了也许有些彗星散布在它的边界上。出了美洲界限很远我们才碰到了一颗最邻近的星，这颗星也像我们的太阳一样可以用一个苹果来代表。再远许多，便会在各方向都有一些星星，可是大致都互相距离像太阳跟它最邻近的星相距的那么远。在整个地球这么大的地方，依我们的模型比例说来，也只能容下两三颗星罢了。

我们由此便可以看出，在一次宇宙的空间飞行中（例如我们刚才所想象的），我们一定会忽视一个像地球这样不值得注意的小东西——即使我们很细心地寻找也不能发现它。我们简直像在密西西比河（Mississippi）流域的空中飞行，想看到下面的一粒芥子一样。甚至那代表太阳的明亮的苹果也会被忽略过去的，除非我们碰巧飞得离它很近。

第二章　天界现象

由于星辰间的距离太过漫长，单凭肉眼观测，我们绝不可能对宇宙的大小形成一个明晰的概念，并且很难想象出我们与这些天体的实际距离。假若我们能一望而知星辰的远近，假若我们的眼睛又锐利得足以看出恒星和行星表面上的微小的形貌，那么，宇宙的真实构造便会在人类开始研究星空的那一天就真相大白了。只要略微思索就容易明白，假如我们能离开地球相当远的距离（比如它的直径的一万倍吧），那时我们便不能看出它的大小而只看到一个点，在太阳的光下，它也就会像一颗天上的星星一样向我们闪烁。古人却不曾想到这一点，因此他们便认为那些天体都如他们所看到的那样，和地球是绝不相似的东西。即使到了现代，我们自己瞭望天空的时候，也很难想象这些恒星比那些行星要远出千百万倍。它们都好像是在一个天空上以同等远近分布着。只有逻辑和数学所折射出的理性的光辉才能帮助我们得知它们真实的分布与远近来。

正因为难以想象出这种巨大的尺度差异，所以要在心里形成一幅符合它们之间真实关系的图画便非常困难。在这里，读者们得用上十二分小心的注意力，以便我把这些毫无头绪的关系用最简单的方法表示出来，从而把实际情形与我们所见的情形联结起来。

让我们假定把地球从我们脚下拿开了，剩下我们在空中悬挂着。那时我们便会看见各种天体——太阳、月亮、行星、恒星——在各方向围绕着我们，上下东西南北都有。那时眼睛所看见的就没有别的东西。正如我们方才所解释了的，所有这些东西在我们看来也都是同样远近的。

从中心点向各方向以同等距离散开来的大量的点一定是都在一个空洞球体的内部表面上的。因此在我们所假定的这种情形下，诸天体在我们看来一定也像是安置在一个球面上，而我们自己恰在球的中心。既然天文学的最终目的之一是研究我们看到的天体的方位，所以我们看到的大球在天文学中谈起来也就仿佛是真

有这回事了。这便是所谓“天球”（celestial sphere）。在我们所想象的这种情形中，脚下的地球一旦失去，所有在这天球上的天体就会在任何时刻都静止不动了。一天一天，一星期一星期过去了，那些恒星还在那儿丝毫不动。不错，我们如果静静守候着那些行星，就会看出在几天或几星期（这是依它们各自的情形而定）之内它们慢慢绕着太阳转，但这不是一下子便可看出的。我们的第一个印象大概是这个球是由什么坚固的水晶体做成，而那些天体便都钉牢在它的内部表面上。古人曾有过这种概念，他们还把它修正得更近乎实际，他们幻想着有许多的球形互相嵌套在一起，以代表各天体的不同距离。

心中记住了这种概念，我们再把地球搬回脚下来。现在我们又要测试一下读者的想象力了：地球在与天空的大小比较的时候只是一粒微点；可是我们若把它放在适当的地方，它的表面便从我们眼中截去了一半宇宙，正好像一个苹果会从爬在上面的小虫的眼中遮去房间的一半一样。在地平线上的一半天球还可以看见，便叫做“可见半球”（visible hemisphere）；另一半在地平线下，被地球遮掩了看不见的，便叫做“不可见半球”（invisible hemisphere）。当然我们可以周游地球去看那一半球的。

记清楚这种情形后，我们要再请读者集中一下注意力。我们知道地球不是静止的，它不停地绕着通过它中心的一根转轴旋转，这件事的当然结果便是整个天球看起来都向相反的方向旋转了。地球从西往东转，因此天球便好像是从东往西转。这实际的地球自转和因之而起的星辰的视转动便叫做“周日运动”（diurnal motion），因为这种运动是一日一周。

星辰的每日视转动

我们第二步便要表示出在地球自转的极简单的概念与因之而起的天体的周日视转动所表现的较复杂的现象之间的联系。后者是随地球上观察者所在的纬度不同而不同的。我们先从在北纬中部所看见的现象说起。

为了这个目的，我们可以先想象造出一个内空的大球来代表天球。我们可以随意把它造多么大，但一个直径 10 米左右的已足够用了。现在用图 1 表示这个大球的内部，它是钉在转轴的两点上（P 和 Q），使它能够倾斜地旋转。在中心点 O

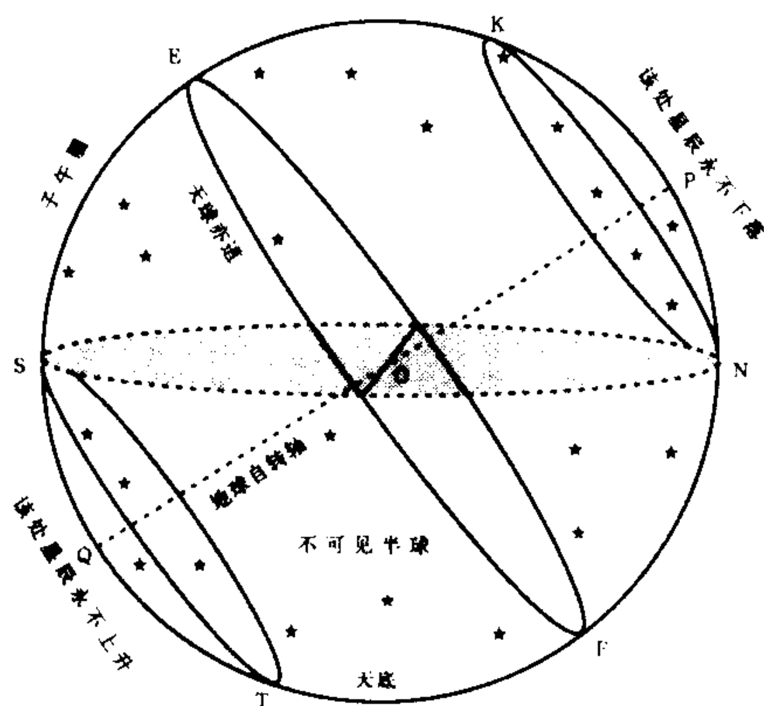


图 1　我们眼中的天球

上，我们有一个平的盘子——NS，我们在这盘上坐着。星座都在球的内部，全表面上都有，可是下面一半被盘子遮住了，我们看不见。这个盘子很显然地代表了我们的地平线。

现在我们便使这大球在转轴上旋转起来。这时发生了什么事？我们会看到在转轴的 P 点附近的星在大球旋转时也都绕着 P 点转。在 KN 圈上的星绕到 P 点下面的时候会擦到圆盘的边。离 P 点更远的星就会沉落到盘底下去，或远或近，依它们离 P 点的远近而定。靠近 EF 圈上的星正在 PQ 之间，它们的旋转路程一半在盘上一半在盘下。最后，在 ST 圈内的星就永不能升到盘上面来，因此也永不能为我们所见。

我们眼中的天球就正是这样一个球，不过加上无限大的广袤而已。在我们看起来，它也是把天上的一点当成转轴不停地绕着旋转，差不多一日一周，太阳、月亮、星辰也都随着它旋转。星辰都保留着它们自己相互间的位置，就好像是钉扎在旋转的天球中一样。这便是说，如果我们在夜间任何一小时内给它们拍摄一张照片，那么在其他任何小时内它们也还是照片中的状况，只要我们能把它放在准确的方位上。

转轴的 P 点叫做“天球北极”（north celestial pole）。在北纬中部的居民（我们中的大部分都是）眼中，它便在北天上，差不多正当天顶与北方地平线的正中。我们住的地方愈向南去，北极便愈靠近地平线，它离地平线的高度正相当于观察者所在地的纬度。离北极很近的一颗星便是北极星，我们以后要讲怎样去寻找它。在平常的观测中，北极星似乎从来不移动。其实它离北极只有一度多一点，这差别我们现在可以不管它。

正对着天球北极的是“天球南极”（south celestial pole），它在地平线下，与北极离地平线的距离一样远。

很明显的，在我们的纬度上所见的周日运动是倾斜的。当太阳从东方出来的时候，它看起来并不是从地平线上一直升起来的，它的路线是倾向着南方与地

平线成一个或大或小的锐角。因此在它沉没的时候，它对于地平线也还是取着倾斜的路线。

现在我们再想象一只极大的圆规来，它要大得足以接着天界。我们把它的一只脚定在天球北极，再把另一只脚接上北极下面的地平线。让指定北极的那只脚不动，而用另一只脚在天球上画出一个大圆圈来。这大圆圈的下面正好和地平相连，而它的上面，在我们的北纬地区看起来，最高点已差不多接近天顶了。这大圆圈里的星是永远不落的，它们看来只是每日环绕北极转动一周。因此，这圆圈便叫做“恒显圈”（circle of perpetual apparition）。

在这圈外更向南的星都有升有落，可是越往南去的星每天在地平线上的路程就越少，直到最南方的一点上，星星只在地平线上略微一露面就隐退了。

更往南去的星，在我们的纬度上看起来，就根本不出现了。那些星都在一个“恒隐圈”（circle of perpetual occultation）中。恒隐圈以天球南极为中心，正像恒显圈以天球北极为中心一样。

图 2 是北方所见的恒显圈内的北天主要星座。把适当的月份转到顶上来，我们便可看到当月每日下午八时前后的北天星座了。图中也标出了找北极星的方法，就是利用大熊座中 7 颗星（即北斗七星）中的两颗“指极星”（Pointers）的延长线，那便是对着北极的方向。

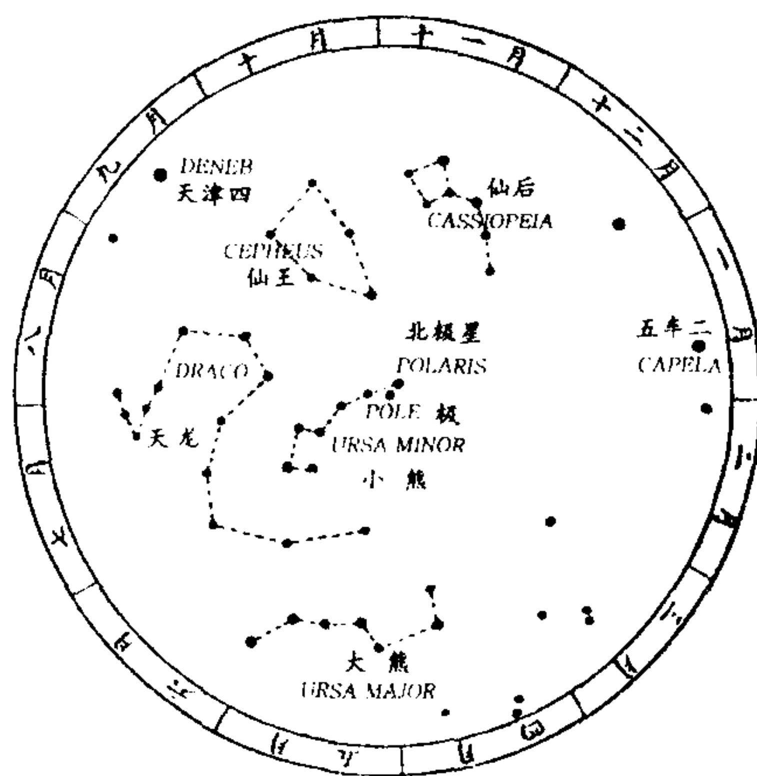


图 2 北天与北极星

现在我们来变换一下我们的纬度看看会有什么变化。如果我们是向赤道方向旅行，我们的地平方向也改变了，而且在我们的途中可以看到北极星渐渐地往下

沉落得越来越低。我们接近了赤道，它也接近了地平，我们到了赤道，它也到了地平线上。当然，恒显圈也随之越来越小，我们到了赤道时，恒显圈也就完全消失了，南北方向地平线上各有天的一极。那里的周日运动就跟我们此地所见的完全不同了。太阳、月亮、星辰，升起来时就一直向上。如果有颗星恰好在正东方升起，它必定会正好经过天顶；从偏南些的天上升起的星一定从天顶南边过去；而偏北的星也自然从天顶北边过去了。

我们再继续往南走，到了南半球上，我们又看到太阳虽然从东方出来，却大致是从天顶的北面横过中天了。南北两半球上的最大不同点便是：太阳既然在天顶的北边过中天，它的视运动就不像我们这儿一样跟钟表上时针方向一致，却恰好与之相反了。在南纬中部，我们所熟悉的北天星座都永远在地平线下，而南方却出现了新的星座。有些南天星座是颇以美观著名的，例如南十字座。其实说来，大家常以为南天比北天更加美丽而且包含更多的星。可是这种见解现在已证明是不正确的了。很仔细地研究计算这些星辰后，我们知道南天和北天的星数差不多是相等的。大概我们刚才说的这种印象是由于南天相对晴朗些也未可知。南非洲以及南美洲的空气中确实比我们北方较少烟雾，这也许是因为那儿气候比较干燥的缘故。

我们刚才说的北天星辰绕天极的周日运动也同样可以适用于南天。但是南天并没有南极星，因此也没有方法找出天球南极来。南极附近有一些小星，可是也并不比天上别处更密。当然南半球上也有它的恒显圈，而且我们越往南去，圈也越来越大。这便是说在南极周围有一圆圈中的星辰永远不落，却绕着南极转，看起来的方向也正和北天上的相反。因此，也还有一个恒隐圈，里面包括了北极附近的星座，而这些星座却是在我们的纬度上永远不落的。一旦我们过了南纬 20 度，就绝看不见小熊座的任何部分。再往南去，大熊座也只在地平线上或多或少的露出一部分了。

如果我们再继续向南极旅行，我们便再也看不到星辰的升落了。那些星都平行地绕着天上一点转动，中心南极便在天顶。当然这种情形在北极也是一样的。

第三章　时间与经度的关系

我们都知道，一条由北而南通过某地的线叫做该地的子午圈。更确切些说，地球表面上的子午圈便是由北极至南极之间所作的半圆。这种半圆从北极向各方散开，因此我们可以把这线画到任何地方去。格林威治皇家天文台（Royal Observatory at Greenwich）的子午圈是当今国际公认的经度计算的起点，而欧美大部分的钟表时间也是依此标准而定的。

相对于某地地上子午圈的还有天上的子午圈（即地上的子午圈在天球上的投影），从天的北极起始通过天顶，在最南一点与地平相交，再往南直达南极。既然地球绕着轴旋转，它也就把地上的跟天上的子午圈一起连带着旋转，因此，天上的子午圈在一日之内经过整个天球。在我们看来的现象却是天球上的每一点在一日之内都要经过子午圈。

中午便是太阳通过子午圈的时刻。在现代计时工具出现以前，大家都依照太阳定钟表。可是因为黄道的倾斜角与地球绕日轨道的偏心率，太阳每次经过同一条子午圈前后所间隔的时间是不完全相等的。结果，假如钟的时间准确，太阳便有时在正午 12 点钟以前，有时又在以后通过子午圈。如果明白了这个道理，便不难区分视时（apparent time）与平时（mean time）了。视时是依太阳而定的每日长短不等的时间；平时是依钟表定的每日之内完全不差的时间。两者之间的差别便叫做时差（equation of time）。它们相差最多的时候约发生在每年 11 月初和 2 月中。11 月初，太阳在 12 点前 16 分钟经过子午圈；在 2 月中，却又在 12 点以后 14 分钟经过子午圈。

为了定出平时，天文学家想象出一个平太阳（mean sun）的概念。平太阳是永远顺着天球赤道运行，因此每次经过同一子午圈间隔的时间完全一致，也因此有时在真太阳之前，有时又落后了。这个想象出的平太阳就可以确定每天的时间。

如果不管真实情形，只按照眼见的景象说起来也许更为明了，那么我们先想象地球是静止不动的，平太阳绕着地球转，陆续经过各地的子午圈。这样我们便要想象着“中午”永远环绕世界周游了。在我们的纬度上，它的速度只不过是每秒 300 米左右；这就是说，假如我们所在的地方正是中午，1 秒钟后，向西 300 米的地方便是中午，再过 1 秒钟又西移 300 米，依此类推下去，过了 24 小时后中午又回到我们这儿来了。这种情形的最显著的结果便是：任何两个在不同子午圈上的人不可能处在相同的时间。我们向西方旅行，便要不停地觉得我们的表比当地的表走得快，反之，向东方旅行，我们的表又太慢了。这种不同的时间便叫做“地方时”(local time)。

标准时

从前这种地方时的应用曾引起旅行者的很大的不便。每条铁路都有自己的子午圈，依照自己的时间开车，而旅客因为不知道自己的钟表与铁路时间的关系，便常常容易误了火车。直到 1883 年，我们现在的标准时制度才成立。在这种制度下，每 15 度（就是说太阳在每一小时内经过的地方）有一标准子午圈。中午经过标准子午圈的时候，两旁 7.5 度之内也都算是正午。这便叫做“标准时”（standard time)。指示这些地带的经度也都以通过格林威治（天文台）的子午圈为起点计算。费城（Philadelphia）约在格林威治西 75 度或者说西五区，更确切些说是约 5 时 1 分。于是美国东部诸州的标准子午圈便在这地方（费城）东面一点。平正午(mean noon）经过这子午圈时，西面一直到俄亥俄（Ohio）都要算是正午 12 点的。1 小时后，12 点便在密西西比河流域。再过 1 小时，12 点又在落基山脉（Rocky Mountains）一带。再过 1 小时，12 点在太平洋沿岸了。于是美国便有四种时间：东部时间、中部时间、山区时间、太平洋时间，依次相差一个钟头。用这种标准时，在太平洋、大西洋之间穿梭的旅行者只要每次把钟表拨快或拨慢 1 小时，便与在单一时区中毫无差别了。

1949 年之前，中国分别设置了 5 个时区，即：中原时区、陇蜀时区、新疆时区、长白时区、昆仑时区。时区不同，所在地的时间也不一样。新中国采用以首

都北京所在的东八时区的时间作为全国的标准时间，通称为"北京时间"。

一个地方经度的确定也就是利用这种时间的差别。试想有一观察者在纽约（New York），当某一颗星准确经过子午圈的时候发一下电报，这时间便在芝加哥（Chicago）和纽约两处记录了下来。等到这颗星经过芝加哥的子午圈的时候，另一观察者又发一下电报报告时间。这两次电报之间所隔的时间表示了这两城市相差的经度。

另一种定经度的方法便是两观察者互相报告本地的地方时，这样也可以得到与前面同一的结果。两地时间之差也就是经度之差。

可是在这方面有一点必须记得：天体的升落出没是依照地方时而不依标准时的。因此日历中列的太阳出没的时刻不能确定我们钟表的标准时，除非我们恰好住在标准子午圈上。这两种时间的差异之一便是：当我们向东或西旅行时，地方时不断的改变，而标准时却只在我们经过某一时区的边界时，一跳跳过去1小时。

日期在什么地方改变

"午夜"也像"中午"一样不断地绕着地球旅行，陆续经过子午圈。每过一处便表示那一子午圈上又开始新的日期了。假使它经过一处的日期正是星期一，那么它再来时便是星期二了。因此一定有一道子午圈是星期一与星期二的交界处，或者说是两天之间交替的地方。这一划分日期的子午圈叫做"国际日期变更线"（date line），人们只是由习惯和方便来划定这条线的。当移民向东西方发展的时候，人人都把日期带了去。但直到向东去的跟向西去的在一处碰了头时，他们的日期已相差了一整天。向西去的还是星期一而向东来的却已是星期二了。这便是美国人到阿拉斯加（Alaska）时所发生的事。俄国人向东走到了这地方，美国人向西走也到了这地方，可是美国人还在过星期六而俄国人已经度星期日了。于是发生了一个问题：当地居民要到希腊教堂做礼拜的时候，到底应该遵照新的还是旧的日期计算法呢？这问题一直闹到圣彼得堡（St. Petersburg）大教堂的主教面前，最后还是请俄国国立普尔科沃天文台（Pulkova Observatory）台长斯特鲁维（Struve）来解决。斯特鲁维做了一个报告，认为美国人算法较为正确，日期才算

更改一致了。

现在习惯所规定的国际日期变更线是正对着格林威治的子午线。这条界线恰好在太平洋中间，经过很少的陆地——只是亚洲的东北角也许还有斐济群岛（Fiji Islands）的一部分。这是一种很有利的情形，日期变更线经过一个国家内部所发生的种种不便就由此可以避免了。因为假如是那样，这一城市的日期就会和界线外的邻城日期相差一天的。甚至也许一条街的两旁的居民都会过着不同的星期日的。可是既然日期变更线在海洋中，就不会有这种麻烦了。国际日期变更线并不是严格的地上的子午圈，它可以曲折拐弯以回避上述的不便的。因此，查塔姆群岛（Chatham Island）上的日期跟邻近的新西兰（New Zealand）的日期一致，虽然离格林威治180度的子午圈正从它们中间经过。

第四章　怎样确定一个天体的位置

本章中我不得不引用并且解释一些专门的名词了。如果我们想完全明白天体的运行，以及在任何时候观测星星的位置的话，这些专门名词的意义都是很重要的。对于一位只想大致知道天界现象的读者，这一章并不是必要的。但我一定要请那想更深一点了解天象的人来一同作更深的研究，研究我们在第二章里所描写过的天球。我们现在回到图1上去，便可看出我们正在研究的两个球之间的关系。一个是真实的地球，我们住在它上面，它每天带着我们不停地旋转。另一个是天上看来仿佛存在的天球，它在极其辽远的距离之外从各方向围绕地球，它虽然不是实在的，我们却一定要想象着它，为的是知道到什么地方去寻找天体。要注意我们是在天球的中心，因此天球上的东西都好像是在球的内部表面上，而我们是在地球的外部表面上。

这两球上的许多圈点都有类似的关系。我们已经说过地球的转轴指出我们的南北极，又从两个方向直横过长空，指出天球上的南北极来。我们知道地球的赤道环绕地球，离两极同样远。同样的，在天球上也有一条赤道环绕天球，与两天极各成90度。假使能把它画在天上，那我们就日夜都能看见它永远在不变的位置上。我们可以准确地想象出它的形状来。它在正东正西两点上与地平线相交，实际上也便是当春分、秋分（3月、9月）时，太阳在地平线上的12小时内，由周日运动在天上移动的那一条路线。在美国北部诸州看来，它正好横过天顶与南方地平线之间的正中间，越往南来，它也越近天顶——在中国的大部分地区看来，也是如此

正像我们有平行于赤道而环绕地球赤道南北的纬度圈一样，天球上也有与天球赤道平行以两天极为中心的圈子。正像地球上的纬度圈越接近两极越小一样，天球上的纬度圈也越接近天极越小。

我们知道地上的经度是根据通过该地的从北极到南极的子午圈而定的。这子

午圈与格林威治子午圈所成的角度便是当地的经度。

在天球上，我们也有同样的东西。也想象出一些线介于北天极到南天极之间在各方向散开，但都与天球赤道成直角正交，如图 3 所示。这便叫做“时圈”(hour circles)。其中之一叫做“二分圈”（equinoctial colure），图中也标示着。这条线正好通过春分点（这一点我们下一章就要讲到）。它在天上的作用与格林威治子午圈在地上的作用相同。

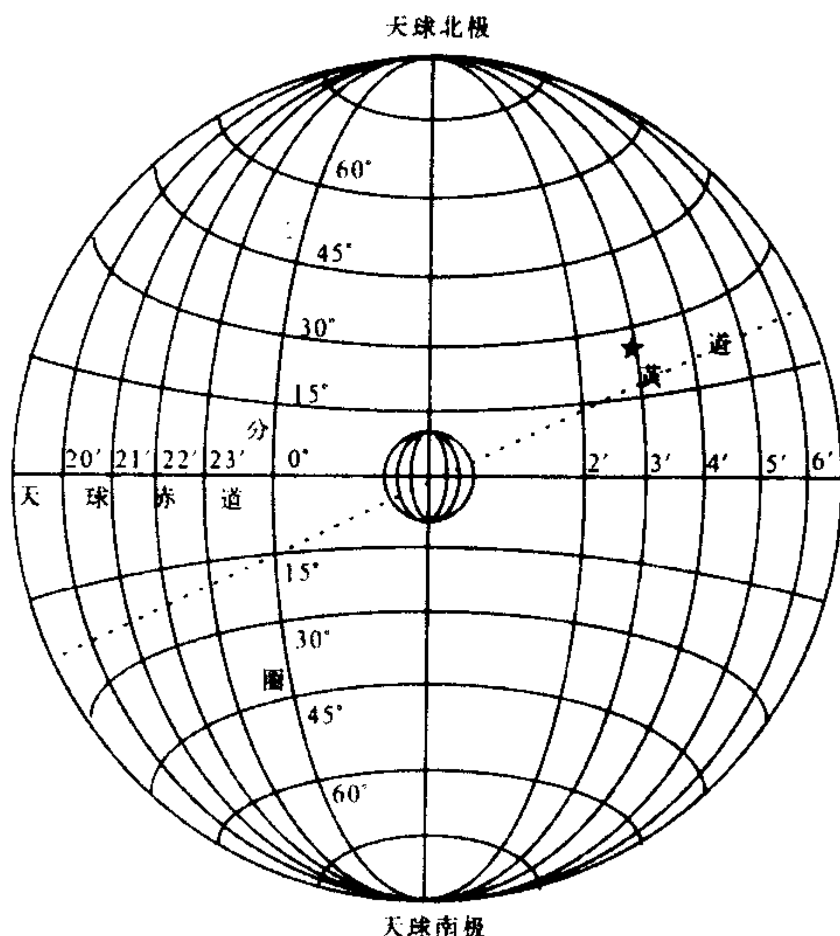


图 3　天球的经纬

天球上一颗星的位置与地球上一座城的位置是用同样的方法来定的：由它的经纬度来表示。可是用的名词却不大一样。天文学中，等于地上经度的叫做“赤经”（right ascension）等于地上纬度的叫做“赤纬”（declination）。于是我们便有了下面这些定义，我要请读者把它们好好的记下来。

一颗星的赤纬便是它距离天球赤道在南北方向上的视距。图 3 中的星正在赤纬北 25 度。

一颗星的赤经便是经过这颗星的时圈与经过春分点的二分圈所成的角度。图 3 中的星正在赤经 3 时上。

在天文学中，一颗星的赤经是用时分秒来表示的，正如图 3 中所示。可是它

也可以用度数来表示，正像我们说地上的经度一样。用时表示的赤经化成度数只须乘以15便可得。这是因为地球在每小时中旋转15度角。从图3中还可看出，纬度的相差体现在直线距离上，全地球上都一样长短，而经度相差却不然了，它的直线距离从赤道到两极越来越小。在地球赤道上，一经度的相差约相距111.8千米，可是在南北纬45度上，它只有67.6千米了。在南北纬60度上它已不到56千米。在两极它便等于零了，因为在那儿各子午圈都相遇于一点了。

我们还可看到地球自转的线速度也依这一规律而减小。在赤道上经度相差为15度则直线距离约为1 600千米，地球旋转线速度约为每秒钟460米。但在南北纬45度上，线速度已减小到每秒300米多一点了。在南北纬60度上已只等于赤道的一半；到了两极上则减小为零了。

应用这种经纬到天上去，唯一的困难只是地球的自转。只要我们不旅行，我们便永在地球的某一经度上不动。可是因为地球的自转，天上任何一点的赤经（在我们看来是固定的）却不断的移动了。天球子午圈与时圈的差别仅仅在于前者随着地球旋转而后者却固定在天球上不动。

几乎在地球与天球的每一点上都有一种严格的相似。地球在它的轴上从西往东旋转，天球便好像从东往西旋转。如果我们想象地球正在天球中央，有一根公共转轴穿过它们（如图3所示），我们就可以对它们的关系得到一个明晰的概念了。

假如太阳也像星辰一样几乎年年岁岁都固定在天球上不动，那么要找一颗我们已知赤经和赤纬的星星肯定会比较容易一些。因为地球有每年一次的环绕太阳的公转，所以在每晚相同时刻，天球上的太阳视位置便永不相同。我们下面就要指出这种公转所产生的影响。

第五章　地球的周年运动及其结果

大家都知道地球不仅在自己的转轴上旋转，还环绕太阳做一年一次的公转。这种运动的结果——实际上是表明这种运动的现象——便是看起来好像太阳在众星之间每年环绕天球一周了。我们只要想象我们自己环绕太阳运动，并且看到太阳在向相反的方向运动，就不难知道一定会看出太阳在众星之间移动了，因为星辰比太阳要遥远得多。不错，这种运动不是立刻可以看出的，因为白昼看不见星。可是如果我们每天都守候着西天的某一颗星，就会看到它一天比一天落得早，换句话说，一天比一天更接近太阳——更确切些说，既然星的方位不变，太阳似乎就是向星辰的方向来的。这样一来，地球的周年运动就显然可知了。

假使我们能在白昼看见星辰，看它们散布在太阳周围，这种情形便会更加显然。我们定会看到，如果有一颗星在早晨与太阳同时升起，在一天之中，太阳就要渐向东去离开这颗星的。在太阳出没之间，太阳定会离开这颗星约有自己直径那么远的。到次日早晨，我们又会见到它已离这颗星很远，约有它的直径的二倍了。图 4 表示了春分时（3 月 21 日前后）的这种情形。这种运动一月一月地继续不断。太阳离开这颗星环游一次天球，一年之后又回来与这颗星相会了。

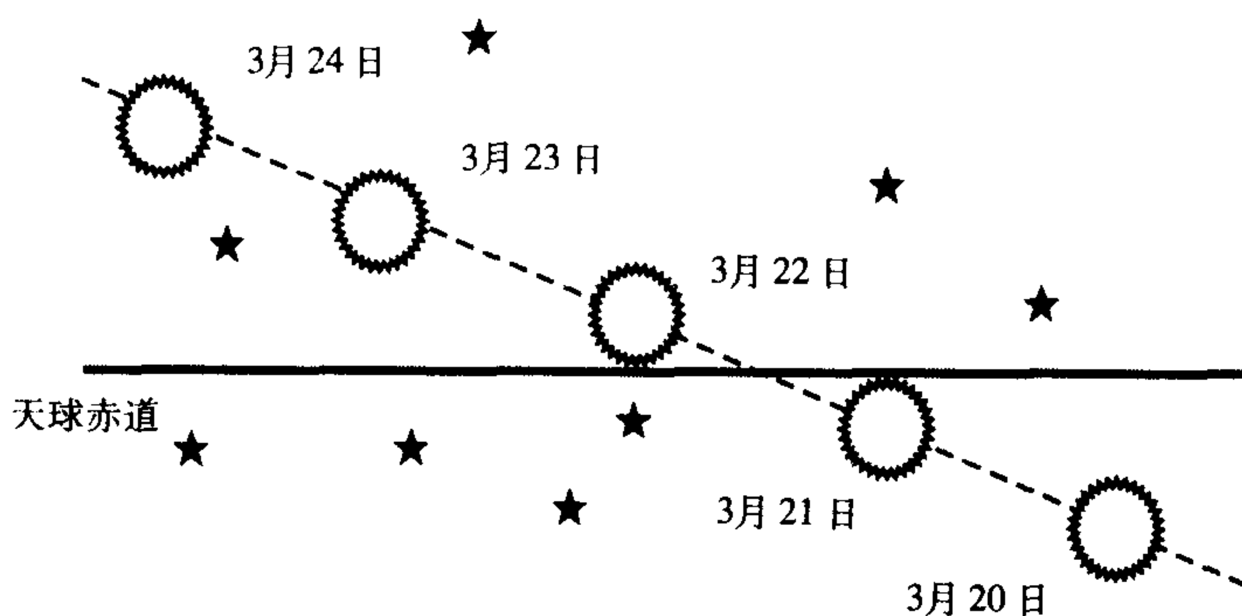


图 4　3 月 21 日前后太阳经过天球赤道

太阳的周年视运动

上述情形的原因可从图5看出来，图中表示地球绕日运行的轨道用遥远的星辰作背景。当地球在A的时候，我们看见太阳在AM线上，好像它正在星辰中间的M点上一样。地球由A到B，太阳也由M到了N，照这样继续一年下去。古人早已知道太阳的这种周年运动，但他们费了很大的劲才把这现象画出来。他们想象了一根线绕过天球，太阳便每年依这路线环游天球一次。他们把这条线叫做“黄道”（ecliptic）。他们还发现了行星也大致不差却并不十分准确地在太阳的轨迹上从众星之间穿行。他们又想象出一条带子把黄道线夹在中间并且包括了所有已知行星和太阳，这带他们叫做“黄道带”（zodiac）。这条带分为十二宫，每宫包含一个星座。太阳每月经过一宫，全年经过十二宫。这便是我们所熟知的黄道十二宫，宫名分别和其中的星座名相同。这可不完全跟现在的情形相符，因为有一种很缓慢的岁差运动在中间，不久我们就要说明这一点。

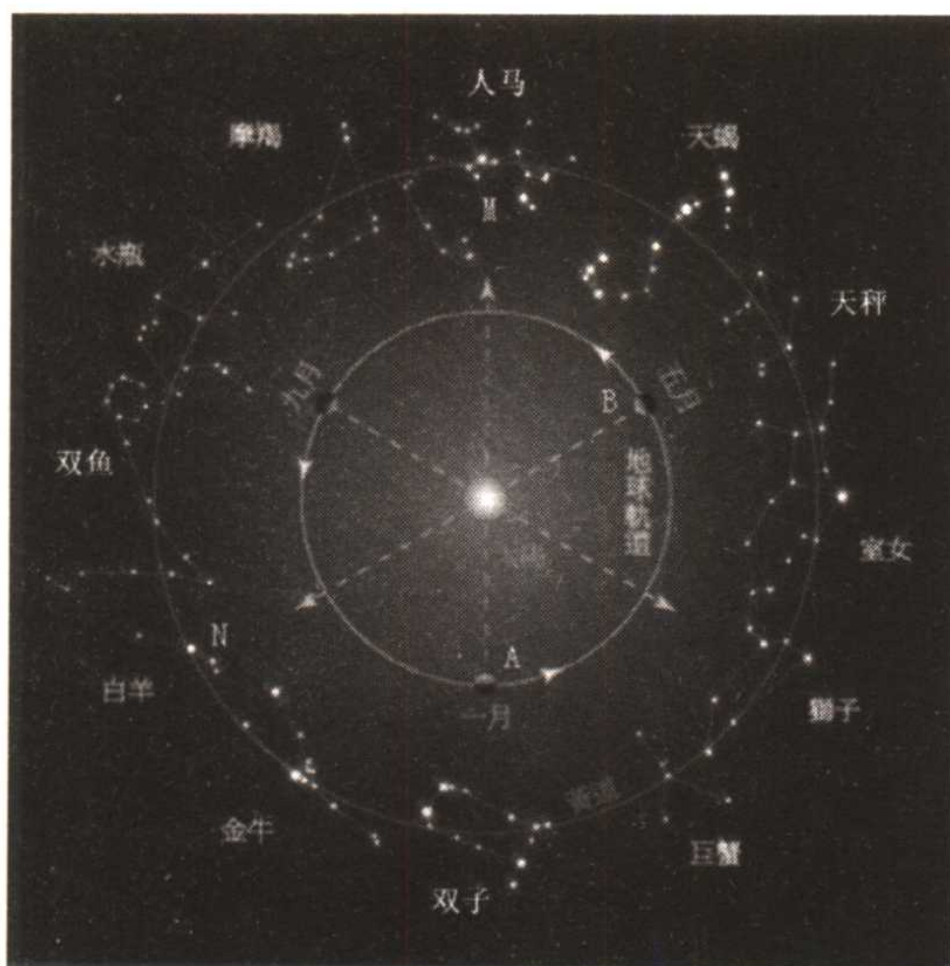


图5　地球轨道与黄道带

我们现在就可看出，我们说过的环绕全天球的两道圈是由两种绝不相同的方法定出的。天球赤道是由地球转轴的方向规定的，恰在两天极的正中间嵌入天球。黄道却是由地球绕太阳的运动来决定的。

这两道圈并不一致，却在相对的两点相交，约成 23.5 度的角，或者说约为直角的四分之一。这个角便叫做“黄赤交角”（obliquity of the ecliptic）。要想正确明白何以发生这种情形，我们必须再说一下两天极。从我们已说过的话看来，不难知道两天极并不由天上的东西决定，却只是依据地球转轴的方向；它们不过是天上相对的两点正好和地球转轴成一直线罢了。天球赤道既是两天极正中间的大圆，也便自然是只由地球转轴的方向而定，跟别的毫不相干了。

现在我们想象地球绕日轨道是水平的。我们可把它想象成一个将太阳安置在中心的平盘的圆周。我们再假定地球依这圆周运行，中心恰好在平盘上；那么，假如地球的自转轴是垂直的，它的赤道也一定是水平的并且与平盘在同一平面内，而地球一年围绕平盘一周的时候，中心也永远正对着太阳了。于是在天球上，由太阳的路程来决定的黄道也一定跟天球赤道是同一圆圈了。黄赤交角（黄道倾斜角）的来历便是因为地球轨道并不垂直得像刚才所假定的，却倾斜了 23.5 度。黄道对平盘的倾斜也就刚好是这么多，所以，这倾斜只是由于地轴的倾斜。与此相关的有一件重要的事实，在地球绕太阳旋转的时候，它的轴在空间的方向是不变的；因此，地球北极便有时偏向太阳有时偏离太阳了。这种情形见图 6，图中表示刚才假想的平面盘，地球的轴偏向右方。不论地球在太阳的东西南北，北极的方向永远不变。

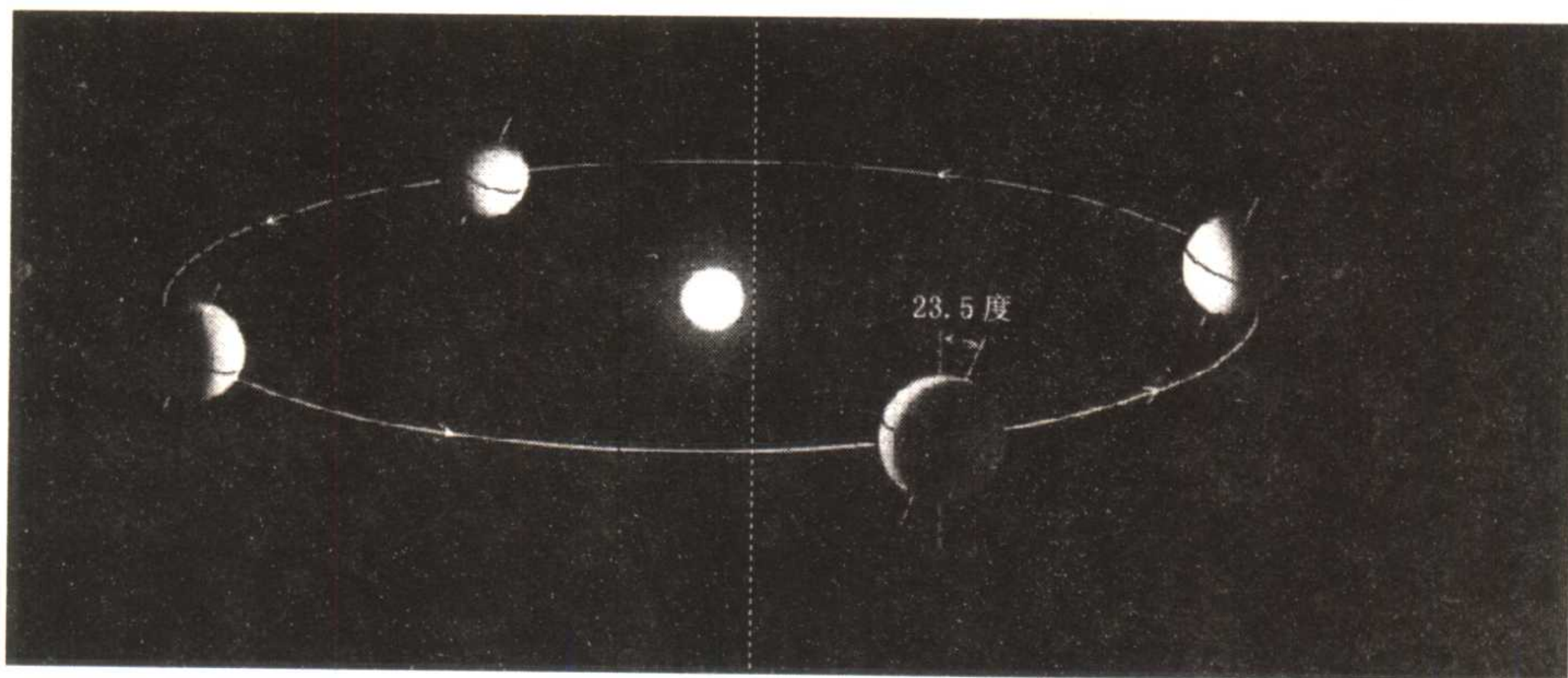


图 6　如何因黄道倾斜而有四季

要看出这种黄道倾斜的影响，我们可以假想在3月21日左右的一个正午，地球突然停止不旋转了，可是还继续环绕太阳运行。以后三个月内我们所见的便是图7的情形。图中假定我们正向南天望去。我们看到太阳正在子午圈上，乍一看似乎静止不动。图中表示天球赤道从东到西与地平相交，正如前面所说的情形，黄道与赤道相交于春分点。接着守候了约三个月的时间，我们就会看到太阳慢慢地沿着黄道走向写着“夏至点”的地方去。那一点是它途中最偏北的一点，它约在6月22日前后达到。

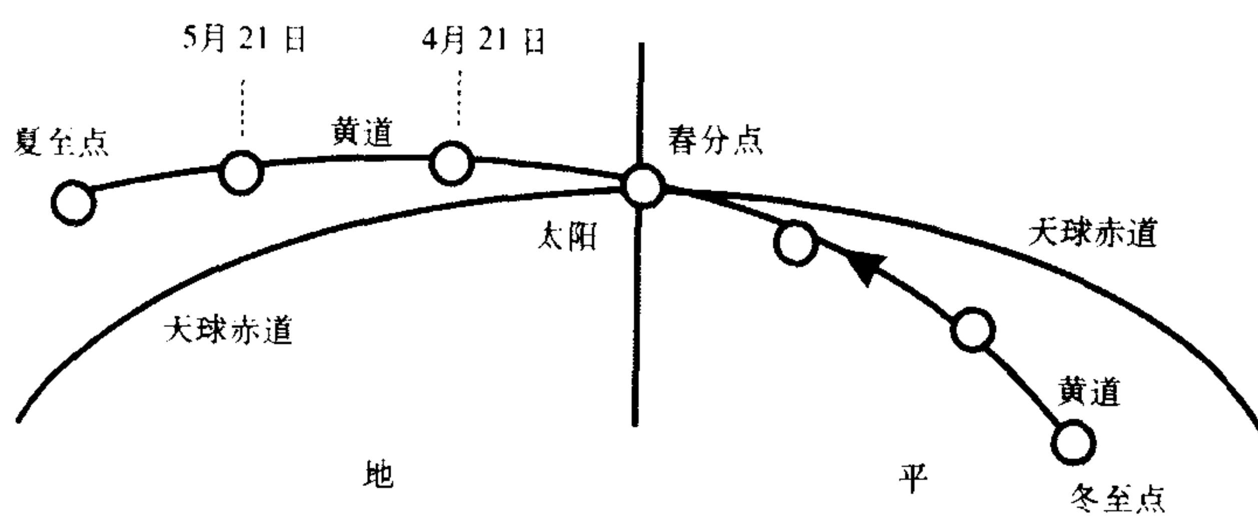


图7　春夏间太阳沿黄道的视运动

图8使我们能继续追踪太阳三个月。经过了夏至点以后，它的轨迹又使它渐渐接近天球赤道，约在9月23日前后它再由天球赤道经过。这一年剩下一半的路程刚好是它前六个月所行路程的复制品。它在12月22日达到离赤道最南的一点，又在3月21日经过天球赤道。这些日期偶尔会有前后的不同，那是因为闰年的缘故。

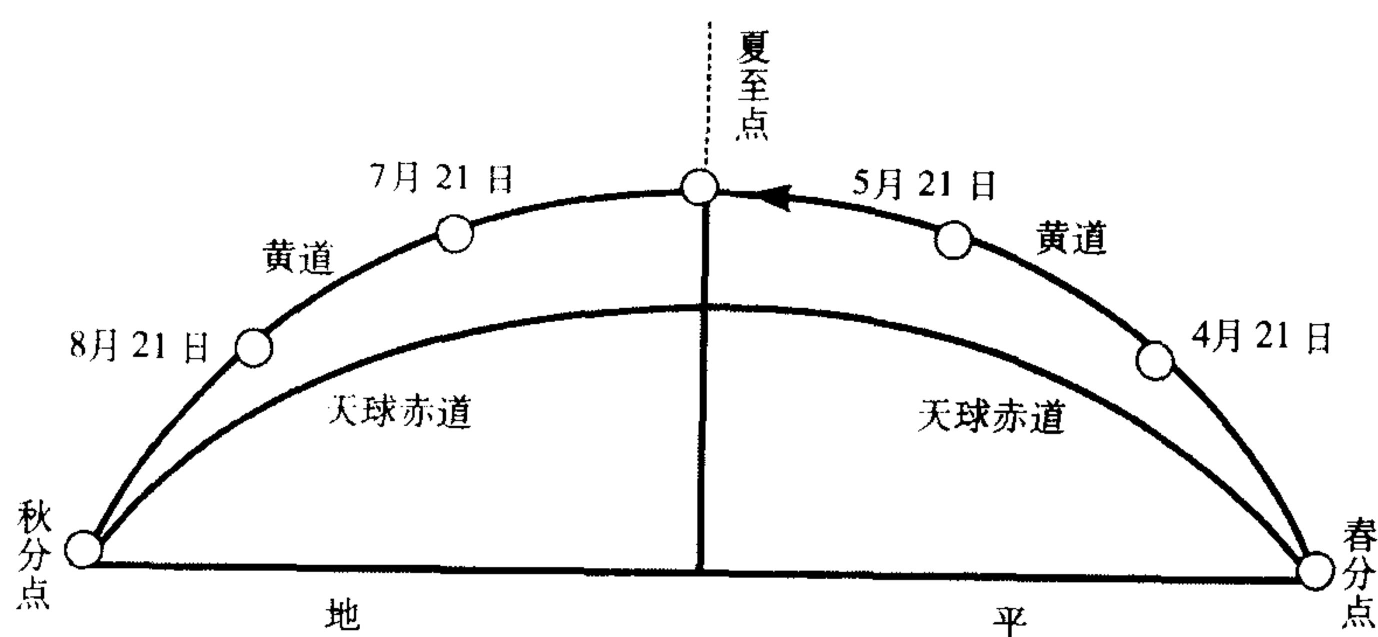


图8　3月到9月间太阳的视运动

现在我们看到太阳的周年视运动的轨迹中有四点要注意：（一）我们开始守候的地方是春分点。（二）太阳行到最偏北的一点，又要开始返回而向南接近赤道时，那是夏至点。（三）正对着春分点的是秋分点，太阳在 9 月 23 日前后经过。（四）正对着夏至点而太阳最偏南的一点，那是冬至点。

在两天极之间通过这些点与天球赤道成直角的时圈称为“分至圈”（colures）。通过春分点的二分圈，是赤经的起点，我们已说过了。与之成直角的是二至圈。

现在我们再来说明星座与季候及每日时间的关系。假设今天太阳与一颗星星同时经过子午圈，那么明天太阳就要在该星的东边相距约一度远了，这就是说星要在太阳之前约 4 分钟经过子午圈；这种情形一天天继续下去，一直到一年以后两者又重新聚会，同时经过子午圈。这样一来，一颗星经过天空的次数要比太阳多一次了。这就是说：平年之间，太阳经过子午圈 365 次，一颗恒星就要经过 366 次。当然，如果我们取一颗南天的星来计算，它的出没次数又和太阳一样了。

天文学家计算这种与太阳不同的恒星出没的时间是用的一种“恒星日”（sidereal day），这一日之长正好等于一颗星（或春分点）两次经过子午圈之间的时间。天文学家又将一恒星日分为 24 恒星时，再照常分为分秒。他们又用一种比普通时钟每天快 3 分 56 秒的恒星时钟来计算恒星时。所谓恒星午便是春分点经过当地子午圈的时刻。那时恒星时钟便是零时零分零秒。照这样安排下去，恒星时钟便正好和天球的视转动时间一致。我们的天文学家不怕如许麻烦，设计了这样一个恒星时钟，为的是能无论昼夜，只要向他的时钟一看，便知道什么星正经过子午圈以及各星座都在什么位置上了。

四季

假使地球转轴恰好与黄道的平面垂直，黄道便要与天球赤道相合，我们也便不会有四季之分了。太阳永远从正东方升起，向正西方落下，全年不变。地上的气候只会有稍微的变化，因为地球在 1 月比在 6 月离太阳略近一点。可是黄道既然倾斜了，那么，太阳在赤道北的时候（3 月 21 日到 9 月 23 日）每天照耀在北半球上的时间便要比南半球长一些，而且与地面所成的角度也要大一些。在南半球

上的情形便恰好与此相反。太阳从9月23日到3月21日之间照耀地面的时间，南半球上比北半球上长些了。于是当北半球是冬季时，南半球便是夏季，彼此恰恰相反，这边夏季那边又是冬季了。

真运动与视运动的关系

在更进一步之前，我们不妨把我们所谈论过的现象总结一下。过去所说的是从两种观点出发的：一是地球的真运动；一是由这种真运动所引起的天体的视运动。

真周日运动是地球绕自己的轴自转。视周日运动是因地球自转而生的星体现象。

真周年运动是地球环绕太阳的公转。视周年运动是太阳在群星之间环绕天球。

由于真周日运动，我们的地平便从太阳或星辰上经过。于是我们依据我们实际看到的情形说太阳或星辰上升或落下了。

约在每年3月21日前后，地球赤道的平面从太阳的北面到南面去，约在9月23日前后又从南而北。于是我们说太阳在3月经过赤道向北，在9月又经过赤道向南了。

在每年6月地球赤道的平面在太阳之南的最远处，在12月又在太阳之北的最远处。我们便说，在第一种情形中太阳在北至点，在第二种情形中在南至点了。

相对与地球轨道垂直的线，地球的自转轴倾斜了23.5度。眼见的结果便是黄道也对天球赤道倾斜23.5度了。

在六月及夏季的其他月份中，地球的北半球倾向着太阳这一边。被地球带着转的北纬度地区便在旋转一次中得太阳光的时间有一大半；而南纬度地区便只有一小半。在我们看来的结果便是每天太阳在地平线上的时间较长，我们过着炎热的夏季，而南半球则昼短夜长正是冬季。

在我们过冬的时候，这种情形便恰好反过来。南半球倾向着太阳，北半球远离太阳。结果，南半球上昼长夜短正是夏季，北半球上却轮到寒冷的冬季了。

（附注：如果我们从相对性原理出发，就很容易理解上述这些事实了。因为宇宙没有中心，而所有参考系对描述物理定律都是平权的，所以我们无法判断时空中哪个参考系是绝对参考系，所有运动都是相对的。）

年与岁差

我们区分年的办法最自然的是依地球环绕太阳一周的时间来定。按我们所说的看来，这种长短便有两种不同的度量方法。一是量出太阳经过同一颗恒星两次之间的时间。一是量出太阳经过春分点（或秋分点，即经过天球赤道）两次之间的时间。如果二分点是固定在众星之间不变位置的，这两种度量方法的结果便会完全相等了。但是古代天文学家根据千百年观察的结果发现，两者并不一致。太阳以恒星为起点绕天空一周比以春分点为起点绕天空一周要多费时约 11 分钟时间。这说明春分点是在众星之间一年一年的不停地移动位置了。这种移动便叫做“岁差”（the precession of equinoxes）。这也是与天上的东西毫不相干的，只是由于地球在环绕太阳时每年不断地慢慢移动地轴的方向而已。

我们假定图 6 中的地球一直旋转下去，经过六七千年转过六七千次后，我们就会发现那时地轴的北极不是向着我们的右方，却正对着我们这边了。再过六七千年它会转向我们的左方；然后再过同样长的时间，它就会背向着我们；而如果再过同样长的时间，也就是说约 2.6 万年以后，它又回到原来的方向了。

既然天极是依地轴的方向而定，这种地轴转向的结果自然也要使天极在天上绕一个圆圈了，这圈的半径约有 23.5 度。现在的北极星离北极约一度多一点。可是北极却渐渐接近它，直到约 200 年后又离它而去。1.2 万年后北极要移到天琴座（Lyra）中，离该座的亮星——织女星（Vega）约有五度。在古希腊人的时代中，他们的航海者并不认得什么北极星，因为现在的北极星那时离北极还有 10 度到 12 度远，那时的北极在北极星与大熊座之间，那时的水手只能依靠大熊座定他们航行的方向。

从这看来，既然天球赤道是两天极正中间的大圈，它的在群星之间的位置便也不能不因此而有变动了。过去两千年间这种移动的情形表示在图 9 中。既然二分点就是天球赤道与黄道相交的两点，它们当然也得因此而移动了。这便是岁差（二分点的前移）的来历。

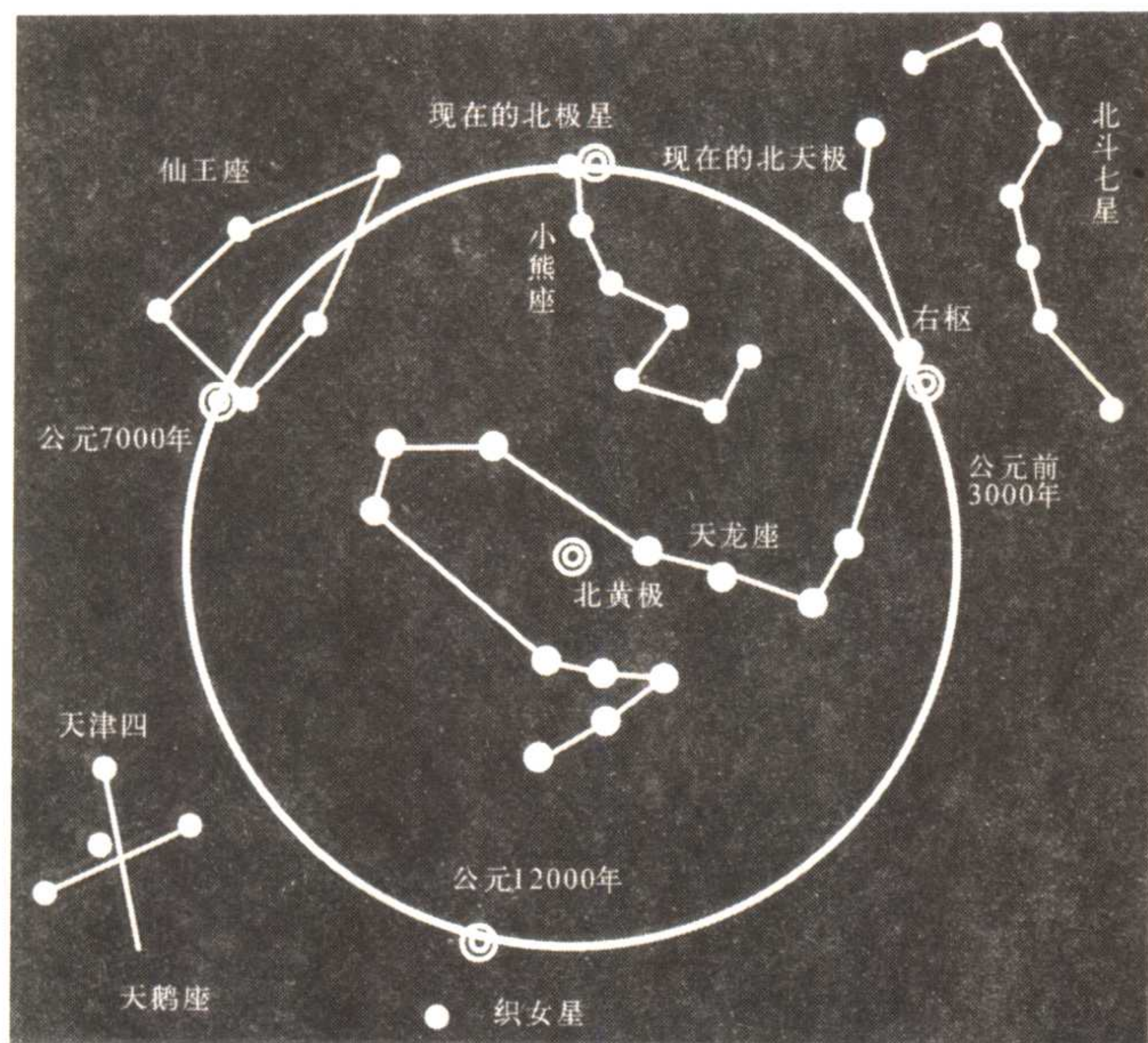


图9　岁差

上述的两种年，一种叫做“恒星年”（sidereal year），另一种叫做“分至年”或“回归年”（tropical year）。回归年便是太阳两次回归二分点之间所用的时间，具体长短是365日5小时48分46秒。

因为四季是依太阳在天球赤道南北而定的，所以通常计算时间都用回归年。古代天文学家以为它的长短是365.25日。在托勒密（Ptolemy，生于公元2世纪的埃及天文学家）的时代中，算得更准一些，约为比365.25日少几分钟。当代差不多所有的文明国家都采用格列高里历（Gregorian Calendar），定出的年的长短和这非常相近。

恒星年是太阳两次经过同一恒星之间所用的时间，长度为365日6小时9分。依照基督教国家中一直沿用到1582年的罗马儒略历（Julian Calendar），一年的时间恰为365.25日。这就比回归年的真实长度要多出11分14秒来。因此四季便会在千百年中慢慢改变了。为了避免这一点，要有一个平均长度尽可能准确的年的制度，罗马教皇格列高里十三世（Gregory XIII）下了一道命令，在儒略历的四百年之间取消3次闰年。依儒略历，每一世纪的最后一年必为闰年。在格列高里历中，1600年仍为闰年，可是1500、1700、1800、1900都是平年。

格列高里历立即被所有天主教国家所采用，而新教国家亦渐次采用，因此它已成为世界通行的历法了（辛亥革命后，中国也是如此。）

农历

在中国，除了格列高里历（俗称阳历），还有实行了数千年之久的农历。它是一种特殊的阴阳历，而不是纯粹的阴历。现在，中国百姓安排农事、渔业生产、确定传统节日，仍要用着它。

农历的月按朔望周期来定。月相朔（日月合朔）所在日为月初一，下次朔的日期为下月初一。因为一个朔望周期是29.53日，所以分大小月。大月30日，小月29日。某月的“大”、“小”、哪天是“朔日”，要根据太阳、月亮的真实位置来推算，古时候叫“定朔”。

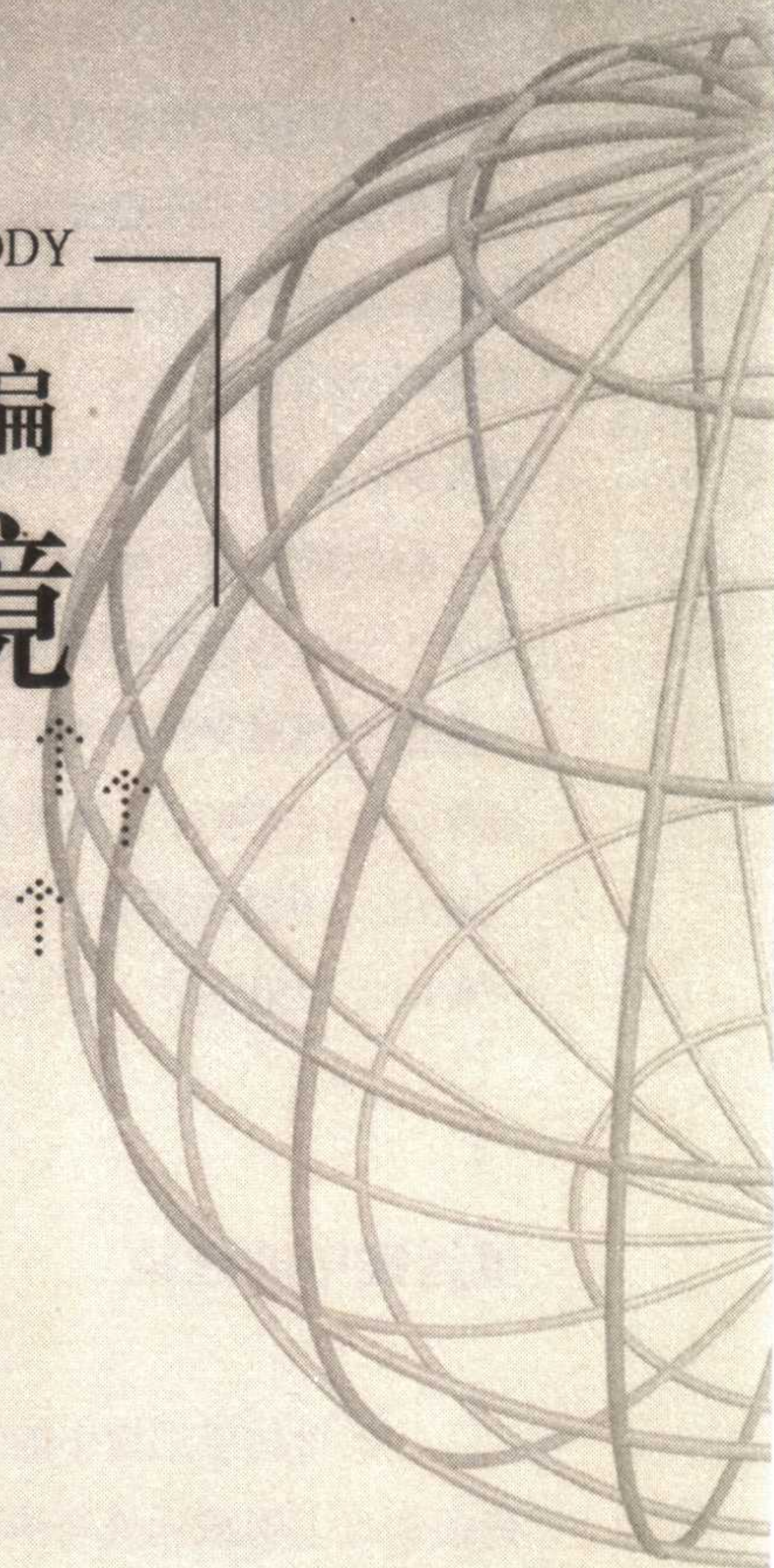
农历的年，以回归年为依据。农历用增加闰月的方法（置闰的基本方法要根据24节气来定）使农历年的平均长度与回归年相近，并将岁首调整到“雨水”所在的月初。农历一年12个月，共354或355日。平均19年置7闰月，使19年的农历与19年的回归年基本等长。所以一般来说，中国人19岁、38岁、57岁、76岁时的阳历生日和农历生日重合到一起。

农历岁首，自汉武帝太初元年（公元前104年）五月颁行的太初历以来，除个别朝代的皇帝有短期改动以外，一直以雨水所在月份为正月，该月初一为岁首。

ASTRONOMY FOR EVERYBODY

第二编

望远镜



第一章　折射望远镜

在科学研究中没有比使用望远镜的工作更能吸引大众兴趣的了。我想读者也一定很想明确地知道望远镜究竟是什么，以及用望远镜又能看到些什么。这种工具的最完整的形式，例如天文学家在天文台上用的，是非常复杂的。可是其中有几个要点却只需细心一点加以注意便可大致体会。明白了这些要点以后，再去参观天文台，审视这些仪器时，便能比一个毫无所知的人得到更多的满足和知识。

我们都知道，望远镜的重要用途是使我们能把远处的东西看得近些；看一件若干千米以外的东西竟能仿佛是在几米之内。造成这种结果的光学工具就是用的一些很大的磨得很好的透镜——这种透镜跟我们所用的眼镜是一类的东西，只不过更大更精美罢了。收集从物体来的光至少有两种方法：一是让光通过许多透镜；二是用一凹面镜把光反射出来。因此我们有多种望远镜：一种叫做折射望远镜，一种叫反射望远镜，还有一种叫折反射望远镜。我们先从折射望远镜讲起。

望远镜中的透镜

一架折射望远镜中的透镜由两个系统组合而成：一个是“物镜”，用来在望远镜的焦点上形成远处物体的像；另一个是“目镜”，用来在人眼看得最清晰的地方形成新的像。

物镜才是望远镜中真正困难而且精巧的一部分。制造这一部分比其他所有部分加在一起都需要更多精巧的工艺。其中需要怎样大的天赋才能，我们只须举出一件事实来：二百多年以前，任何地方的天文学家都相信，全世界上只有一个人有能力制造巨大而精美的物镜，这人名叫阿尔凡·克拉克（Alvan Clark），不久我们

就要提到他。

通常制成的物镜由两大透镜构成。望远镜的能力便完全依赖于这些透镜的直径，这便叫做望远镜的“口径”（aperture）。口径的大小不等，可以从家用小望远镜的10厘米左右，一直到叶凯士天文台（Yerkes Observatory）大型折射望远镜的1.02米。

要保证在望远镜中远处的物体有清楚的影像，最要紧的一件事便是物镜一定要把从该物体上任何一点来的光都集中到一个焦点上来。如果这一点办不到，不同处来的光也略微分散到不同的焦点上去，那么，那物体看起来就会很模糊，就好像从一副不合光的眼镜里去看东西一样。可是，单片透镜不管是用什么玻璃制造的，是不能把所有的光集中于同一焦点的。读者当然知道平常的光，不论是从太阳或是从星上来的，都是无数不同的颜色的混合，只要将它通过三棱镜便可分开来。这些颜色从红色的一头起一直排下去是橙、黄、绿、蓝、靛、紫。一个单片透镜会把不同颜色的光聚集到不同的焦点上去；红的离物镜最远而紫的最近。这种光线的分开叫做“色散”（dispersion）。

二百年前的天文学家都以为绝无办法避免透镜的色散作用。约在1750年，伦敦的多龙德（Dollond）发明了一个方法避免这种弊病，那就是利用两种不同的玻璃，一种是冕牌玻璃，一种是火石玻璃。这种方法的原理是非常简单的。冕牌玻璃的折光能力差不多跟火石玻璃一样，可是色散能力却差不多加大了一倍。于是多龙德用两块透镜做成了一副物镜，其中的一部分见图10。前面是一片冕牌玻璃的凸镜，这是普通的做法。与它连在一起的是一片火石玻璃的凹镜。既然这两透镜的曲度相反，便会使光向不同的方向射去。冕牌玻璃要把光集中于一点，火石玻璃的凹镜却要把光线分散。如果单用火石玻璃，我们便会看到光线通过它，不但不向一点集中，反要从一点向各方向渐渐散开。这片火石玻璃的聚焦能力制作得恰好比冕牌玻璃的聚焦能力的一半大一点。这一巧妙的设计已足可消去冕牌玻璃的色散了；却还不能消去它的折光能力的一半以上。联合的结果便是所有的光线通过，其中都差不多集中于一个焦点，但这焦点却要比单用冕牌玻璃时远了约一倍。

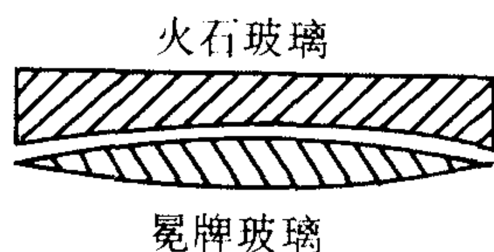


图10 望远镜中物镜的一部分

刚才说的“差不多集中于一个焦点”，是因为比较不幸：这两层玻璃组合起来还不能把所有各种颜色的光线绝对集中于同一焦点上。望远镜口径愈大，这种弊病愈严重。如果你从一架大折射望远镜中去看月亮或一颗亮星，一定会看到它们周围有一圈蓝色或紫色的晕痕。这两重透镜不能把蓝色或紫色光线也集中到和其他颜色相同的焦点去，由此而产生了称为“二级光谱”的像差。这是由一般光学玻璃的性质决定的，科学家们也没办法。目视用的折射望远镜所需的视场一般不大，二级光谱是它的主要像差，缩小相对口径可以减少它的不利影响。

因为大型折射望远镜要求采用大块的透光性能优良的光学玻璃，这给制造带来困难。而且大型折射望远镜在紫外和红外波段的透光量比反射望远镜少、存在残余色差。它的架构的支持力也不如反射望远镜那么好，因此制造这种望远镜的花费要更大。这些都限制了它向更大的口径发展。当今世界上最大的折射望远镜的口径只有 1.02 米。

由于物镜的这种聚光于焦点的作用，远处物体的像便在焦平面上形成了。焦平面是通过焦点与望远镜的主轴或视线成直角的平面。

望远镜中所成的像是怎样的情形，你可以在照相师准备照相时去瞧一瞧他的照相机中的毛玻璃。你在那儿可以见到一副面孔或一张远景画在毛玻璃上。从各方面说来，照相机就是一架小望远镜，而毛玻璃，或者放感光片的地方，便是焦平面。我们还可以反转过来叙述这种情形，说望远镜是长焦距的大照相机，我们可以用它照天空的相片，正如同照相师用照相机照平常的相片一样。

有时候，我们可以通过明白一件东西不是什么而更充分地明白它是什么。两百多年前的著名的月亮大骗案中，有一点正好能这样帮助我们。那个作家用这样一个荒唐的故事欺骗了很多轻信的读者：赫歇耳爵士（Sir John Herschel）用极大放大倍率的望远镜观测月亮，竟然感觉没有充分的光足以看出那影像来了。于是有人向他建议用人工光来照明那影像。结果非常惊人——连月亮上的动物都在望远镜中看出来了。如果大多数的人——甚至连聪明绝顶的也算上——并没有被骗的话，我也就用不着说下面的话了：望远镜所成的像在本质上是外来的光线帮助不了的。原因在于它并非一幅真像（实像），而是由于远处物体的任何一点上的光线都相交在影像上相当的点上，再从该点散开，正像有一幅物体的图画在焦平面上一样而已。事实上图画这词也许比影像这词要略好一点来表示物体的显现情形，

但这幅图画却只是由光聚焦而画成的，其间毫无他物——对于这样的像，我们称为虚像。

假若物体的影像（或说图画）恰好形成在我们眼前，那么大家也许要问：为什么看它还需要目镜？为什么观测者不能站在图画后面，向物镜望去，望见影像悬在空中？他实在可以这样做，只要他把一片毛玻璃放在焦平面上，像照相师对待照相机一样。他可以这么样去看影像显在毛玻璃上。他再向物镜望去，也就用不着目镜便可以看见物体了。可是在任何点上都只看得见一小部分，因此直接看物镜的好处也实在很少。要好好看还是得用目镜。目镜不过是一个小眼镜，从根本上说与钟表匠使用的眼镜是同类的。目镜的焦距愈短，观察愈精确。

常有人问：著名望远镜的放大倍率有多么大？答案是：望远镜的放大率不仅依赖物镜，也还要看目镜的。目镜的焦距愈短，放大率愈大。天文望远镜都有许多不同的目镜的，依观测者的需要而用。

在几何光学原理允许的范围之内，我们可以在任何望远镜（不论大小）上得到任何放大率。用一个平常的显微镜来看影像，我们可以使一个10厘米小望远镜拥有与赫歇耳的大反射望远镜同等的放大率。可是要使任何望远镜的倍率超过一定程度是有许多实际困难的：首先是物体表面发出的光很弱。假设我们用一个8厘米望远镜望土星，使它有数百倍的放大率，土星便显得黯淡不清楚了。但这还不是使小望远镜有高放大率的唯一困难。按照光学的一般定律，是不允许我们能把每2.5厘米口径的放大率提高到50倍以上，或者最多说也不能超过100倍的。这就是说，用一架2.5厘米口径的望远镜我们不能得到150倍以上放大率，更不用说超过300倍了。

可是还有一类困难特别使天文学家觉得不好办的。这就是由地球大气而产生的模糊，就是平常所说的看不清楚。

我们看天体是要透过一层厚厚的大气的。大气如果压缩到和我们周围的空气一样密，就会有十千米左右的厚度。我们知道，看一件10千米外的东西，会看到它的轮廓是模糊的。主要的原因就是光线所必须透过的大气永不停息地搅动，引起不规则的折射，使物体显得波状颤抖着。这样产生的轮廓柔化与模糊在望远镜中还要加上许多倍。结果，我们加大了放大率，同时也依同等比例加大了影像中的模糊。这种模糊程度的深浅大半只依赖于空气的情形如何。天文学家考虑到这

个问题，于是为大望远镜寻找空气宁静的地方，以便观测的天体轮廓尽量清晰。

我们常见到一些计算说用高倍率大望远镜可以把月亮搬得多么逼近。譬如说，用一架 1 000 倍放大率的，我们看它似乎在 400 千米以外；用一架约 5 000 倍的，就似乎只在 80 千米之外了。这种计算倒是不错的，如果单从月亮上的任何东西的目视大小来说，望远镜的缺点以及大气扰动而带来影响，足以把这一切变得模糊不清。这两层毛病的结果使上述的计算不能切合实际。我很怀疑任何天文学家使用现有的任何望远镜来观测月亮或行星一类的东西时，把放大率加到千倍以上还能得到多大的好处，除非遇上了一个大气异常平静的机会。

望远镜的装置

那些根本未见过望远镜的人大概会以为使用望远镜观测天体是极其简单的事情，只需把望远镜对着某一天体，然后观测就是了。可是我们不妨试验一下这种办法，把望远镜指着一颗星，一件也许出乎我们意料的事立刻就会引起我们的注意。那颗星并没有静静地守在望远镜的视野（或者说望远镜中的小圆形的天空）中等我们去观测，却很快地逃了出去。这是因为地球绕自己的轴旋转，星辰便仿佛向相反的方向转了。这种运动的速度与望远镜的放大率同比例地加大。若用高倍率的望远镜，我们还未来得及观测时，星早已逃出我们观测的范围了。

现在我们必须记得我们从望远镜中所见的视野也是同样因为望远镜的放大作用而被缩小了的，因此它实际的观测范围比看起来要小得多，缩小的倍率正等于望远镜的放大倍率。举例说，如果用的是千倍的，那么普通望远镜的视野便会是约 2 分的角度，这一小块天空在肉眼看起来不过是一点罢了。这简直就像我们从一座 6 米高的屋顶上一个直径 3.5 厘米的小洞中去看星星一样。如果我们想象一下从这样的小洞中望星，便不难明白要找到一颗星并追随它的运动是多么难办的事了。

解决这问题的方法就是适当地装置望远镜，使它在互成直角的两轴上旋转。“装置”的意思是指整套仪器，借它的帮助我们可以使望远镜指定一颗星，并追随它的周日运动。我们不想一开始就讲述这种仪器的详细机理，以免分散读者的注意力。我们先来一个大纲，说明转动望远镜的两轴间的关系。主要的一根轴叫做

“极轴”（polar axis），装得恰好与地球的轴平行，因此正对着天极。因为地球每天从西向东旋转，便有个装置连着这根轴，使它以同等的速度从东向西旋转。于是地球的旋转似乎被望远镜的相当的逆旋转抵消了。当望远镜指着一颗星而装置开始运动时，这颗星找着了以后就不会逃出视野去了。

为了使望远镜可以自由随意地指着天上任何一点，就必须有另一根与极轴成直角的轴。这便叫做“赤纬轴”（declination axis）。它上面有一鞘刚好安在极轴的前端，两者合成一个T字形。使望远镜在这两根轴上转动，我们可以使它指着任何我们要看的方向。

值得一提的是，中国汉代著名科学家张衡发明的浑天仪早就采用了类似的结构。浑天仪为球体模型，由一个轴贯穿球心，轴和球有两个支点，作为南极和北极。在球的外面套有两个圆圈，一个叫地平圈，另一个叫子午圈，交叉环套。天球半露在地平圈上，半隐在地平圈下。天轴支架在子午圈的上边。另外，在球体上还有黄道和天球赤道，互成24度交角。天球赤道和黄道上各刻有二十四节气，并且从冬至点起，刻分成365.25度，每度分四格，太阳每天辐射在黄道上移动1度。

既然极轴是与地轴平行的，它对地平的倾斜度就正好等于当地的纬度。在北纬较南部，它便几乎偏于水平而不垂直了。但在北方却又是偏于垂直的。

很明显，上述的装置还不足以解决将一颗星移入视野（或照通常说法，找到

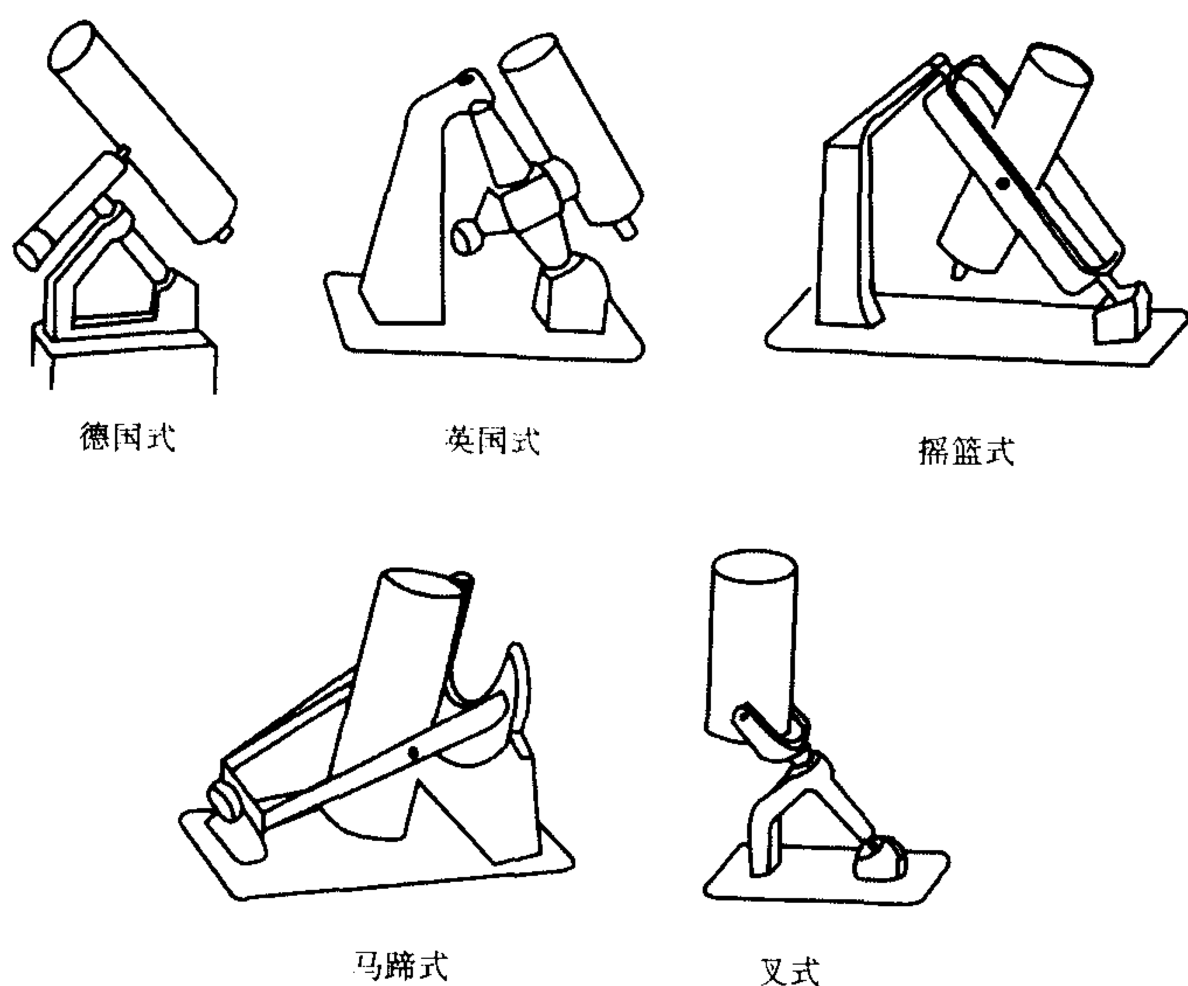


图11
望远镜的装置图

一颗星）的问题。我们也许会摸索寻觅几分钟、甚至几小时而不能成功。但是不要紧，找出星的方法还有如下两种：

每台天文望远镜都有另一小望远镜附在望远镜长筒的下端，这叫做“寻星镜”(finder)。寻星镜的放大率较低，因此视野较大。如果观测者能看见那颗星，便可从镜筒外找到目标再使寻星镜对着它，使它进入寻星镜的视野。在寻星镜中找到该星后再把星移到视野的中央。按照这个步骤做完之后，星也就在主镜的视野之中了。

但是天文学家所要观测的星大都是肉眼完全看不见的。因此他必须再有方法使望远镜对着肉眼所不能看见的星。这就要凭借分装在两轴上的划分度数的圆圈了。其中之一上面刻着度数及分秒，这便表示望远镜所指的那一点的赤纬。另一个装在极轴上，叫做时圈，分成 24 小时，每 1 小时又分成 60 分，以表示赤经。当天文学家要寻找一颗位置已知的星的时候，他只要先望一望恒星时钟，从恒星时中减去该星的赤经，便得到它的当时的“时角”(hour angle)，或者说在子午圈偏东或偏西的距离。他再使赤纬圈对准该星的赤纬，这就是说，他转动望远镜使圈上的度数正等于该星的赤纬度；于是他在极轴上转动仪器，使时圈上也正好是该星的时角。然后开动导星器自动追踪星星，再向望远镜中望去，他所要找的星星便赫然在目了。

如果读者觉得这种办法太复杂，他只要到天文台去参观一下便可看出手续是多么简单了。那样一来，他就可以在几分钟内明白什么是恒星时、时角、赤纬以及这一类的名词了。这些实际的知识是要比任何纸上的描写要更容易使人明白的。

望远镜的制造

现在我们来谈谈与望远镜制造有关的有趣的事，其中大半都是历史事实。我们已经说过，最大的困难、最需要天生的奇才的，便是制造物镜那一方面。只要对于正确的形式有一点极细微的差错——这毛病在物镜中只有 0.00003 厘米薄的一部分上——便会把像毁坏了的。

制成镜片（也就是说把镜片磨得准确）的磨镜师的本领还决不是所需要的全

部。将大玻璃盘造得足够均匀与纯净也是同样困难的实际问题。玻璃的均匀程度稍差一点，就既不能用又不好看了。

在19世纪开始时，要把火石玻璃加工得足够均匀是个大困难。这种物质中含有大量的铅，在熔化玻璃的时候会沉下锅底，因此使下半面的折光能力比上半面大。结果，在当时，一架口径十几厘米的望远镜便要算是大望远镜了。就在当时，瑞士人奇南（Guinand）发明了一种方法制成大片的火石玻璃。也许他的成功只是由于在玻璃熔化时不停地加以有力的搅动而已。

要利用这些玻璃盘，还需一位有相当才能的磨镜师来把它磨光，使它恰好合用。慕尼黑（Munich）的夫琅和费（Fraunhofer）便是这样一个技师，他在1820年曾造过25厘米口径的望远镜。他并不止于此，在1840年又造了两架直径38厘米口径的望远镜。这些都是空前的产品，在当时曾被认为是奇迹。其中之一为俄国普尔柯沃天文台所得；另一架为哈佛天文台（Harvard Observatory）所得，直到五六十年后还可使用。

夫琅和费死后，在一个不知名的地方出现了一位杰出的后继者，麻省剑桥港（Cambridgeport，Mass.）的肖像画家克拉克。这个人几乎未受初步的专门技术教育，又未受运用光学器具的训练，却成就了伟业，这也足可证明天赋才能的重要了。他好像对于这问题的本质有天生的完整概念，又加以超人的锐利眼力，遂得以解决了问题。那种不可抗拒的思想（这恰好是天才的标志）驱使着他，从欧洲买来一些做小望远镜所必需的粗玻璃盘，造成了一副很令人满意的10厘米口径的望远镜。

当他透镜的卓越使他出名了以后，克拉克又开始制造一架空前巨大的折射望远镜。这便是在1860年左右完成的为密西西比大学而造的46厘米口径的大望远镜。这架望远镜完工尚待试验的时候，他的儿子乔治·克拉克（George B. Clark）曾用它在他的工厂中观测天狼星的伴星（因为这颗伴星对天狼星有引力，人们早知其存在，却还从未看见过它）。美国内战爆发后，密西西比大学未能得到这架望远镜，遂被芝加哥人买去。它曾经是埃文斯通（Evanston）的迪尔波恩天文台（Dearborn Observatory）的主要工具。

大型折射望远镜

19 世纪末，随着工艺水平的提高，各国关于光学玻璃的制造大加改良，随之出现了一个制造大口径折射望远镜的高潮。有不少的专家显现他们的才能，制成精美巨大的透镜。世界上现有的 8 架 70 厘米以上的折射望远镜，其中 7 架是在 1885 年到 1897 年期间建成的。它们中最有代表性的是 1897 年建成的口径 102 厘米的叶凯士望远镜和 1886 年建成的口径 91 厘米的里克望远镜。

英国陆续制造出越来越大的玻璃片，制造者是奇南的女婿费尔。克拉克用这些玻璃片制成更大的望远镜。第一个是为华盛顿的海军天文台造的 66 厘米口径的望远镜，还有一个大小相当的为弗吉尼亚大学而造。以后便是为俄国普尔柯沃天文台造的 76 厘米口径的望远镜。又为加利福尼亚的里克天文台（Lick Observatory）造了 91 厘米口径的望远镜。

费尔死后，玻璃制造的职务又由曼陀伊斯（Mantois）来继承，他所制的玻璃的纯净与均匀是此前无人能及的。他供给克拉克玻璃片，使克拉克得以为威斯康星（Wisconsin）的叶凯士天文台造成最大望远镜的物镜。这架望远镜直径有 102 厘米，现在仍是全世界最大的折射望远镜。

在机械方面也有了很大的改善。一个参观现代天文台的人是既要惊异于观测天象有那么便利，同时也要佩服观测的高明的。大望远镜安置得那么平稳，竟可以很容易用手推动，其迅速的运动也同样是由电机来控制的。当要移动望远镜到新的位置时，天文学家只需按一按电钮，望远镜便移动到新的位置上去了。圆顶也转过去使缝隙对着新的方向；观测者所站的地板也可随意起落，使观测者得以贴近目镜的新位置。而现代的光学望远镜则充分利用了电脑自动控制的便利，可以完全由电脑来自动控制，大大提高了大型望远镜的操作性和观察性。

有许多用大型望远镜的研究都要把目镜卸去，换上一套其他工具：有时是放一件装置底片的东西以便天象摄影研究，有时是一座分光镜以便分析天体的光，有时是一种特殊的装置来记录天体辐射的强度。望远镜的重要作用便是收集光，把光集中在一个焦点上，使人可以用上述或其他种种方法来研究。有的望远镜，例如威尔逊山天文台（Mount Wilson Observatory）的塔式望远镜是固定的。活动的镜子将天体的光一直引到望远镜上，再由望远镜将光集中于下面焦点上以便于实验室中的研究。

第二章 反射望远镜

我们已经知道，在折射望远镜中，物镜是一具透镜，或许多透镜的组合，安置在镜筒的上端。它将星光折射到接近镜筒下端的焦点上去，在那儿形成一个影像，这影像可以用目镜来看，可以摄影，也可以用其他方法研究。伽利略(Galileo) 所用的最早的望远镜以及那个时代所用的望远镜都是折射望远镜。这种望远镜经过了消色方法改良后的形式仍有最普遍的用途。

在反射望远镜中，物镜是一凹镜，安置在镜筒最下端。它将星光反射到接近镜筒上端的焦点上去。现在发生了必须解决的困难：要看焦点上的像，观测者必须从上面向镜中望去。如果他俯在镜筒上看，他便要看到他自己的影子在镜中了。他的头和肩都会遮去大部分射来的星光。因此必须想出方法来使焦点到筒外去，才能充分测得星的像。不同的方法结果造成不同形式的反射望远镜。现在应用的有主焦点系统、牛顿系统、卡塞格林系统、格雷果里系统、折轴系统等。本章介绍其中两种：一是牛顿式（Newtonian），一是卡塞格林式（Gassegrainian）。

牛顿式反射望远镜将一面小镜斜放在镜筒中接近筒顶的焦点之内。这面镜的反光面正好和望远镜的主轴成 45 度角，从大镜射来会聚的光柱再向旁边反射到镜筒边上去。在那儿可以用平常的目镜来看，或者摄影。

因此，用牛顿式反射望远镜的观测口便在镜筒上端左边附近。观测者用目镜看去的方向正与他所观测的星星成直角。大型反射望远镜的观测台连在旋转圆顶上，正对着缝隙，很容易起落，使观测者能在适当的位置上去看望远镜所指向的任何方向。

卡塞格林式则有一较小的略显凸型的反射镜片放在主镜与其焦点之间。小镜把会聚的光柱再反射回去射向大镜，从大镜中央一小开口处通过，在镜后形成焦点，就在这儿安放目镜。用这种望远镜的观测者朝向他所观测的物体望去，正如

同用折射望远镜一样。有许多反射望远镜是既可用成牛顿式，又可用成卡塞格林式的。

反射望远镜有许多优点，例如没有色差、观测波段宽、比折射望远镜更易制造等。但它也存在固有的不足：如口径越大视场越小，物镜需要定期镀膜等。现代的大口径光学望远镜大都是反射式的。

反射镜在三百多年前才广为采用，虽然其中的不同形式的原理已在更早五十年就由牛顿（Newton）、卡塞格林（Gassegirain）及其他人说明过了。威廉·赫歇耳爵士（Sir William Herschel）制造了不少的反射望远镜，还用了几架来考察天象。一百多年前，爱尔兰业余天文学家罗斯爵士（Lord Rosse）有一架直径 1.8 米的大反射望远镜，在当时已是巨无霸了。这架大望远镜为人们所知，尤其是因为它第一次看到了有些遥远天体的旋涡结构，那些天体后来就叫做漩涡星云。

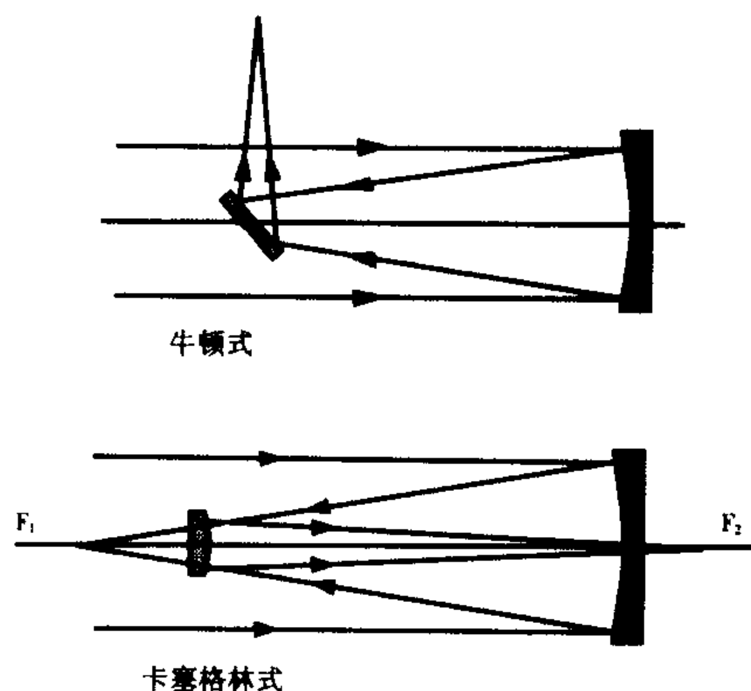


图 12 牛顿式与卡塞格林式反射望远镜

早期反射望远镜的镜子是用金属盘（speculum meta）做成的。当镜面暗了的时候还须再磨光。赫歇耳、罗斯等人的大望远镜的机械部分相比现代的来说是非常粗糙的。它们并不能忠实地追随天体的西移运动，这对于摄影是十分关键的，或者说，其实在几乎所有现代天文观测中都是很重要的。

约在二百年前金属才被玻璃代替。将圆玻璃的一面磨成所需要的形状是镜片的基础——它的曲面上则需镀一层极薄的银膜或铝膜。它对红外区和紫外区都有较好的反射率，适于在较宽的波段范围研究天体的光谱和光度。镀银（铝）面暗淡不明时，可以很容易换上新的。实用的反射望远镜，为了避免像差，视场一般

比较小，为了扩大视场，常常增加像场改正透镜。对于反射镜的材料，只要求它的膨胀系数较小、应力较小和便于磨制。

1918年底，海尔主持建造的口径254厘米的胡克望远镜投入使用。天文学家用这架望远镜第一次揭示了银河系的真实大小和我们在其中所处的位置。而且，哈勃就是通过这台望远镜的观察提出了宇宙膨胀理论。

1930年代，胡克望远镜的成功激发了天文学家建造更大反射望远镜的热情。1948年美国帕洛马山天文台建造了口径508厘米望远镜，命名为海尔望远镜，以此纪念卓越的望远镜制造大师海尔。这架望远镜从设计到完工经历了二十多年，尽管比胡克望远镜分辨能力更强，但它并没有使我们对宇宙有更新的认识。正如阿西摩夫所说："海尔望远镜就像半个世纪以前的叶凯士望远镜一样，似乎预兆着一种特定类型的望远镜已经快发展到它的尽头了。"1976年苏联在高加索建成了一架600厘米的望远镜，但它也没发挥多大作用，更加印证了阿西摩夫所说的话。

第三章　折反射望远镜

折反射望远镜出现于1814年，顾名思意，它是由折射元件和反射元件组成的。哈密尔顿提出在透镜组中间加入反射面，以增加光焦度，这样就能用一般的玻璃得到色差改正比消色差物镜更好的望远镜。

1931年，德国光学家施密特别出心裁地用一块接近于平行板的非球面薄透镜作为改正镜，与球面反射镜配合，制成了可以消除球差和轴外像差的折反射望远镜。这种望远镜就是施密特望远镜，它视场大、像差小，适合于拍摄大面积的天区照片，尤其对暗弱星云的摄影效果非常突出。

1940年马克苏托夫制作出了另外一种折反射望远镜。它用一个弯月形状透镜作为改正透镜，制成了另一类折反射望远镜，它的两个表面是两个曲率不同的球面，相差不大，但曲率和厚度都很大。它的所有表面均为球面，比施密特望远镜的改正板容易磨制，镜筒也比较短，但视场比施密特式望远镜小，对玻璃的要求也高一些。

折反射望远镜特别适合于业余的天文观测和天文摄影。现在，施密特望远镜和马克苏托夫望远镜已经成了天文观测的重要工具。

第四章　望远镜摄影术

天文学的最大进步之一便是摄影术在天体研究上的应用。回到19世纪40年代，纽约的德雷珀（Draper）成功完成了一张月亮的银板照相（daguerreotype）。利用更进步的发明，哈佛天文台的邦德（Bond）和纽约的卢瑟福（Rutherford）开始把这项技术应用到月亮星辰上面去。这些先驱的企图当然不能与现代的天体摄影相媲美，但是卢瑟福所摄的昴星团及其他星团的相片到现在还有天文学的价值，也就可见他们的成功了。

为星辰照相是可以用普通照相机的，只要我们把它安置得像一架赤道仪一样可以追随星辰的周日视运动。几分钟的曝光便可以拍摄到比肉眼所见更多的星了——事实上用大照相机的拍摄是连一分钟也用不到的。可是天文学家平时所用的却是一种摄影望远镜。普通摄影机自然也能用，只要加上相当的改善装置，但为了得到最好的效果起见，望远镜的物镜必须造得使紫光蓝光到同一焦点，因为这种光是摄影底片最敏感的。

为摄影而设计的折射望远镜常做得比同口径的目视望远镜要短些，为的是可以同时多见更大的天空。同时为了使大视野的像更清晰并减少颜色的模糊，其中的物镜常是两重的，便是所谓的“双分离物镜”（doublet）。例如巴纳德（Barnard）用来成功实现他的举世无双的银河及彗星摄影的布鲁斯双分离物镜（Bruce doublet）。而哈佛天文台的61厘米双分离物镜，曾经大大增加了我们对于南半天球的知识。只要物镜充分消去色散以后，折射望远镜是既可以目视又可用作摄影研究的。

在今日说来，摄影底片已大量的代替了眼睛用在望远镜上了。晴朗的天空被用作大量的摄影，而这些永久的记录又便于精密的研究。常常在一个特别有趣的天体（例如新行星或新星）发现以后，天文学家还可以在早先的该部分天空影片中寻找发现前许多年的历史。发现冥王星时的情形便是这样。

古代的天文学家记录太阳黑子、日食、行星、彗星、星云及其他天体的现象都用尽可能正确的图画。这些图画要长时间才能制成，其中还有艺术家个人的偏见。有时两位天文学家对同一天体的两张画竟互不相似，或者到后来又发现与原先的也大不相同。用摄影术我们可得到更真切的天体的影像，而且常常需要的时间更短。

天体摄影最大的优点是在长时间的曝光之后，底片上可得到许多肉眼看不大清楚或简直看不见的情形。譬如说，有些星云在照片中很明显，眼睛却在最大的望远镜中也不能看见。对一个极其黯弱的天体摄影需要若干小时的曝光，需要望远镜的活动部分移动得异常准确，需要天文学家的技术与耐性，这才能得到一张清晰的图画。

光电耦合器件 CCD 的应用，使照相底片也成为了历史。CCD 可对天体进行实时观测，量子效率更高、拥有照相底片办不到的许多优点。

第五章 大型光学望远镜

凯克望远镜（Keck I，Keck II）

凯克望远镜是当前世界上已投入工作的口径最大的光学望远镜，Keck I 和 Keck II 分别在 1991 年和 1996 年建成，它们配置完全一样，而且都放置在夏威夷的莫纳克亚，用于干涉观测。它的名字源于为它捐赠建造经费的企业家凯克（Keck·W·M）。

它们的口径都是 10 米，由 36 块六角镜面拼接组成，每块镜面口径均为 1.8 米，而厚度仅为 10 厘米，通过主动光学支撑系统，使镜面保持极高的精度。焦面设备有三个：近红外照相机、高分辨率 CCD 探测器和高色散光谱仪。

“凯克这样的大望远镜，可以让我们沿着时间的长河探寻宇宙的起源，甚至能让我们一直向回看，看到宇宙最初诞生的时刻。”

欧洲南方天文台甚大望远镜（VLT）

欧洲南方天文台自 1986 年开始研制由四台 8 米口径望远镜组成一台等效口径为 16 米的光学望远镜。这四台 8 米望远镜排列在一条直线上，它们均采用地平装置，主镜采用主动光学系统支撑，指向精度为 1 秒，跟踪精度为 0.05 秒，镜筒重量为 100 吨，叉臂重量不到 120 吨。这 4 台望远镜可以组成一个干涉阵，做两两干涉观测，也可以单独使用每一台望远镜。

大天区多目标光纤光谱望远镜（LAMOST）

LAMOST 是中国正在兴建中的一架有效通光口径为 4 米、焦距为 20 米、视场达 20 平方度的中星仪式的反射施密特望远镜。它把主动光学技术应用在反射施密特系统，在跟踪天体运动中作实时球差改正，实现大口径和大视场兼备的功能。LAMOST 的球面主镜和反射镜均采用拼接技术，并且采用多目标光纤的光谱技术，光纤数可达 4 000 根，而一般望远镜只有 600 根。

预计 LAMOST 将极限星等推到 20.5 等，比 SDSS 计划高 2 等左右，实现 107 个星系的光谱观测，把观测目标的数量提高 1 个量级。

第六章 射电望远镜

1932 年，央斯基（Jansky K. G.）用无线电天线探测到来自银河系中心人马座方向的射电辐射，从而标志着人类打开了在传统光学波段之外观测天体的第一个窗口。

射电望远镜在二战后带动了天文学的振兴。如上个世纪 60 年代时类星体、脉冲星、星际分子和宇宙微波背景辐射这些被称为天文学的四大发现均由射电望远镜担纲。射电望远镜的每一次长足的进步都让天文学向前迈进了一步。

1946 年英国曼彻斯特大学建造了直径为 66.5 米的固定式抛物面射电望远镜，1955年又建成了当时世界上最大的可转动抛物面射电望远镜。

上世纪 60 年代，美国在波多黎各阿雷西博镇建造了直径达 305 米的抛物面射电望远镜，它是顺着山坡固定在地表上的，不能转动，这是世界上最大的单孔径射电望远镜。

1962 年 Ryle 发明了综合孔径射电望远镜并获得了 1974 年诺贝尔物理学奖。综合孔径射电望远镜实现了由多个较小天线结构获得相当于大口径单天线所能取得的效果。

上世纪 70 年代，德国在波恩附近建造了 100 米直径的全向转动抛物面射电望远镜，这是世界上最大的可转动单天线射电望远镜。

上世纪 80 年代以来，欧洲的 VLBI 网、美国的 VLBA 阵、日本的空间 VLBI 相继投入使用，这是新一代射电望远镜的代表，它们在灵敏度、分辨率和观测波段上都大大超过了以往的望远镜。其中，美国的超长基线阵列（VLBA）由 10 个抛物天线组成，横跨从夏威夷到圣科洛伊克斯 8 000 千米的距离，其精度是哈勃太空望远镜的 500 倍，是人眼的 60 万倍。它所达到的分辨率相当于让一个站在纽约的人阅读位于洛杉矶的一张报纸。

第七章　太空望远镜

众所周知，地球表面有一层厚厚的大气，它们是地球的保卫者。地球大气中各种粒子主要通过对天体辐射的吸收和反射，使得大部分波段范围内的天体辐射无法到达地面。人们把能到达地面的波段形象地称为“大气窗口”，这种“窗口”有三个：光学窗口、红外窗口、射电窗口。大气对于其他波段，比如紫外线、X射线、γ射线等均是不透明的，在人造卫星上天后才实现这些波段的天文观测。

红外望远镜

最早的红外观测可以追溯到18世纪末。由于地球大气的吸收和散射造成在地面进行的红外观测只局限于几个近红外窗口，因此要获得更多红外波段的信息，就必须进行空间红外观测。从19世纪下半叶，红外天文学观测才真正开始。最初是用高空气球，后来发展到飞机运载红外望远镜或探测器进行观测。

1983年1月23日，美英荷联合发射了第一颗红外天文卫星IRAS。其主体是一个口径为57厘米的望远镜，主要从事巡天工作。IRAS的成功极大地推动了红外天文在各个层次的发展。直到现在，IRAS的观测源仍是天文学家研究的热点目标。

1995年11月17日由欧洲、美国和日本合作的红外空间天文台ISO发射升空。ISO的主体是一个口径为60厘米的R-C式望远镜，它的功能和性能均比IRAS有许多提高。与IRAS相比，ISO具有更宽的波段范围、更高的空间分辨率、更高的灵敏度（约为IRAS的100倍）以及更多的功能。

紫外望远镜

紫外波段介于X射线和可见光之间的频率范围，观测波段为3 100~100埃。紫外观测需要避开臭氧层和大气对紫外线的吸收，所以在150千米的高度才能进行。从最初用气球将望远镜载上高空观察，到以后用了火箭、航天飞机和卫星等空间技术才使紫外观测有了真正的发展。

1968年美国发射了OAO-2卫星，之后欧洲也发射了TD-1A卫星，它们的任务是对天空的紫外辐射作一般性的普查观测。被命名为“哥白尼”号的OAO-3卫星于1972年发射升空，它携带了一架0.8米的紫外望远镜，正常运行了9年，观测了天体的950~3500埃的紫外光谱。

1990年12月2~11日，“哥伦比亚”号航天飞机搭载Astro-1天文台作了空间实验室第一次紫外光谱上的天文观测；1995年3月2日开始，Astro-2天文台完成了为期16天的紫外天文观测。

1999年6月24日FUSE卫星发射升空，这是NASA的“起源计划”项目之一，其任务是要回答天文学有关宇宙演化的基本问题。

紫外天文学是全波段天文学的重要组成部分，自哥白尼号升空至今，已经发展了紫外波段的EUV（极端紫外）、FUV（远紫外）、UV（紫外）等多种探测卫星，覆盖了全部紫外波段。

X射线望远镜

X射线辐射的波段范围是0.01~10纳米，其中波长较短（能量较高）的称为硬X射线，波长较长的称为软X射线。天体的X射线是根本无法到达地面的，因此只是在人造地球卫星上天后，天文学家才获得了重要的观测成果，X射线天文学才发展起来。

1962年6月，美国麻省理工学院的研究小组第一次发现来自天蝎座方向的强大X射线源，这使X射线天文学进入了较快的发展阶段。后来随着高能天文台1号、2号两颗卫星发射成功，首次进行了X射线波段的巡天观测，使X射线的观

测研究向前迈进了一大步，形成对 X 射线观测的热潮。

γ 射线望远镜

γ 射线比硬 X 射线的能量更高，波长更短。由于地球大气的吸收，γ 射线天文观测只能通过高空气球和人造卫星搭载的仪器进行。

1991 年，美国的康普顿空间天文台（CGRO）由航天飞机送入地球轨道。它的主要任务是进行 γ 波段的首次巡天观测，同时也对较强的宇宙 γ 射线源进行高灵敏度、高分辨率的成像、能谱测量和光变测量，取得了许多有重大科学价值的成果。

CGRO 配备了 4 台仪器，它们在规模和性能上都比以往的探测设备有量级上的提高，这些设备的研制成功为高能天体物理学的研究带来了深刻的变化，也标志着 γ 射线天文学开始逐渐进入成熟阶段。

哈勃太空望远镜（HST）

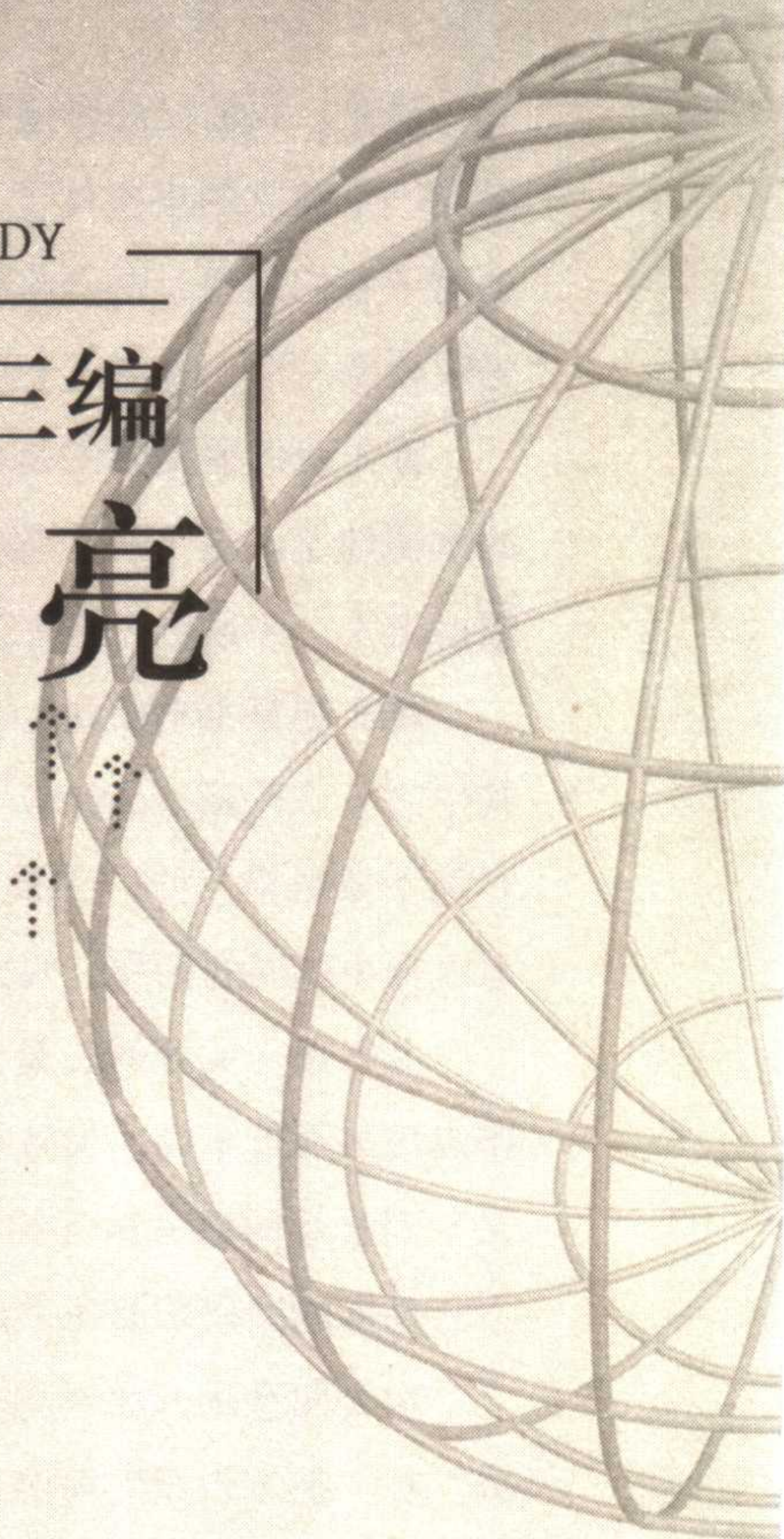
随着空间技术的发展，在大气外进行光学观测已成为可能，所以就有了可以在大气层外观测的空间望远镜（space telescope）。空间观测设备与地面观测设备相比，有极大的优势：以光学望远镜为例，望远镜可以接收宽得多的波段，短波甚至可以延伸到 100 纳米。没有大气抖动后，分辨能力可以得到很大的提高，空间没有重力，仪器就不会因自重而变形等等。

HST 是由美国宇航局主持建造的四座巨型空间天文台中的第一座，也是所有天文观测项目中规模最大、投资最多、最受公众瞩目的一项。它筹建于 1978 年，设计历时 7 年完成，并于 1990 年 4 月 25 日由航天飞机运载升空。但是由于人为原因造成的主镜光学系统的球差，不得不在 1993 年 12 月 2 日进行了规模浩大的修复工作。这次修复非常成功，它的分辨率比地面的大型望远镜竟然高出了几十倍！它的接班人“韦布”预计于 2010 年发射升空。

ASTRONOMY FOR EVERYBODY

第三编

太阳，地球，月亮



第一章　太阳系的最初一瞥

现在，我们已经知道包括我们自己居住的行星在内的这一小群天体，是如何组成一个独立的小团体了。虽然对宇宙来说，这个渺小的团体是微不足道的，但是对于我们来说，却是生存的根本。在详细说明太阳系各个组成部分之前，我们先来浏览一下，看看这个小团体大致是由什么以及如何构成的。

首先我们要提到的是太阳。既然我们的小团体以它来命名，就足可以说明它的重要性了。这个在太阳系中央发光的巨大球体，不停地以惊人的速度把光和热辐射出去，并且用它强有力的引力来维持这个系统的运转。

其次则是那些行星。它们在有规则的轨道中环绕太阳——而我们的地球也是其中之一。行星（planet）这个词的本意是游移不定，古时给它们起这名字是因为它们不像恒星一样，在天空中守着相对固定的位置，却在恒星间游移不定。它们可以分为不同的两类，叫大行星与小行星（major and minor）

大行星一共 8 颗，是全太阳系中除了太阳外最大的物体。它们到太阳之间的距离按照远近不同，大致按照一种有规律的方式排列。从最近的水星（5 800 万千米）到最远的海王星（约 59 亿千米）。水星绕太阳一周只要不到 3 个月，海王星在它遥远的路程却要花上近 165 年。

在太阳系的八大行星中，若按它们的质量大小和结构特征，又分为“类地行星”和“类木行星”两类——顾名思意，就是类似于地球或者是木星的两类行星。类地行星主要由石、铁等物质组成，体积小、密度大、自转慢、卫星少。水星、金星、火星都属于类地行星。而类木行星主要由氢、氦、冰、氨、甲烷等物质组成，体积大、密度低，自转相当快、卫星众多，还有由碎石、冰块或气尘组成的美丽光环。木星、土星、天王星、海王星都属于类木行星。

大行星分为两群，其间有一道很宽的空隙。内层的 4 颗类地行星大体上比外层

的类木行星要小得多，这 4 颗行星合起来居然还够不上外层天王星的 1/4 大。

在两群之间的空隙中旋转的是小行星（asteroids)。和大行星比起来，它们真是渺小得很。它们几乎都在一条很宽的带中，相对太阳来说，这条带从离地球远一点点开始，一直到几乎十倍的地日距离为止。其中大部分约比地球离太阳远四五倍。它们跟大行星还有一点不同，就是数目众多；我们已知有编号的小行星已在 10 000 颗以上，而新的还在不断地被发现，使我们无从估计其总数。

太阳系中的第三类是“卫星”（satellites）或者说“月亮”（moon)。大行星常常有这种小天体绕着旋转。最内层的水星和金星都没有卫星。别的行星，如地球只有一颗卫星（我们的月亮)，土星的卫星却已经发现了 47 颗，木星更是发现了 63 颗（截至 2006 年 6 月)。因此，除了水星跟金星以外，每一颗大行星都是一个近似太阳系的系统的中心。这些系统有时就以其中央星体作为系名。因此我们就有了火星系——其中有火星与其两颗卫星；木星系——其中有木星、木星光环与其 63 颗卫星；土星系——其中有土星、土星光环与其 47 颗卫星……

太阳系中的第四类是“彗星”（comets)。它们绕太阳旋转的轨道是一个非常扁的椭圆。我们只在它们接近太阳时才看见，这在它们的大多数说来都要隔几百年甚至几千年一次的。就算是那时候，若不遇上有利的情形，也还是会失去机会的。

在上述诸天体之外还有无数微小的岩石块（称为流星体）也按有规则的轨道绕着太阳转，它们大概是跟小行星和彗星多少有点瓜葛的。它们都是完全看不见的，除非碰巧进入了我们的大气中来，那时我们就把它们叫做“流星”（shooting stars)。

下面是以距太阳远近为次序并附其所有卫星的行星表：

（一）内层大行星：

水星（Mercury)

金星（Venus)

地球（Earth）有 1 颗卫星

火星（Mars）有 2 颗卫星

（二）小行星

（三）外层大行星：

木星（Jupiter）有 63 颗卫星（有光环）

土星（Saturn）有 47 颗卫星（有光环）

天王星（Uranus）有 27 颗卫星（有光环）

海王星（Neptune）有 13 颗卫星（有光环）

但是我们将不依照这个次序来叙述它们。我们在叙述完太阳以后就跳过水星和金星来谈谈我们的地球和月亮，然后再回头来依次谈其他的行星。

第二章　太阳

这个在太阳系中央的，同时也是我们星系中最大的物体当然要首先引起我们的注意。我们看到的太阳是一个发光的球体。于是首先要问的自然是这球体的大小与远近了。我们知道了它的远近以后也就很容易说出它的大小来——这是一个很简单的初等几何问题——我们可以测量出太阳直径在我们视野中的视角，然后只要知道了它离我们的距离，就可以计算出它的直径。精确的计算只是非常简单的三角问题。我们现在精确测量到太阳直径在我们眼中所成角度为 32 分，这使我们知道太阳离我们的距离是它直径的 107.5 倍，所以我们将太阳到地球的距离除以 107.5 就得到它的直径了。

太阳和地球之间的平均距离是 14 960 万千米。用 107.5 除，我们发现太阳直径约为 139 万千米，这就是地球直径的约 110 倍了。这又可推算出太阳的体积较地球大 130 万倍以上。

太阳的平均密度只是地球密度的四分之一，比水的密度约大 0.4 倍。

太阳质量约为地球的 33.2 万倍。

太阳表面的重力约为地球表面重力的 28 倍。假如人可以到太阳上面去，一个常人将有两吨重而被自己的重量压倒。

太阳对于我们异常重要，因为它是光和热的伟大来源。假如没有它，不仅世界要被无尽的黑夜包围，而且在极短时间中将陷于永恒的寒冷。我们都知道在晴朗的夜间，地面会将日间从太阳吸收来的热量又散发回空中去，要比较冷些。如果没有日间的输入，热量就要持续地消失。我们可以想象一下突然失去了太阳的情形：先是失去了绝大多数的光明，月亮和相对明亮一些的行星同时也变得暗淡，以致于我们根本无法发现其存在。而天空则布满平时很难看到的满天繁星——可惜它们却太过遥远而不能给我们带来多少光明和温暖。这时候，你开始觉得有点

冷了——或许像冬天的夜。但这仅仅是开始，因为不会再有黎明的到来，气温还是会持续下降，一直到比我们的两极还要寒冷。由于没有阳光，光合作用将停止，植物当然不能生长——不过这已经不再重要了，持续降低的温度很快就会把所有的生物冻死。水是储存热量的很好的容器，所以海洋的温度会降低得慢一点。但是不出几个月，所有的大洋都将变成一个大冰坨子。当温度再持续下降的时候，大气就开始液化，最后地球成为一个银白色的死寂星球——在长达数个世纪的降温之后，地球的温度绝对不会超过 2K（零下 271.15℃）

还是让思维回到现实中，看看带给我们温暖的太阳吧。

我们平常看见的太阳表面叫做“光球”（photosphere）。这样就不至于和外面的几乎透明的一层以及内部看不见的部分相混淆。肉眼看来，光球好像各部分完全一样。但在加了滤光镜的望远镜中看来，全表面则都有斑点。在更细致的观测下我们发现，这是由于有很多不规则小颗粒布满全光球的缘故。

当我们比较光球各部分的光度时，发现整个圆面的中心比边缘明亮。这种差别不用望远镜也可看出来。只要我们用一块黑玻璃遮住眼睛，或者在傍晚浓厚的霞彩中去望落日，很容易发现，越靠近太阳的边缘亮度就越低，到了圆面的最外边时，光的亮度大约只相当于中央的一半。另外，边缘和中心还有颜色的不同——边缘所发出的光比中心的光更显暗红。

光球就是我们所能观察到的极限，其内部就观察不到了。光球虽然看起来如皮球表面一样光亮，它的密度却只有我们周围空气的万分之一。我们看这一层时还要透过数万千米的太阳“大气”。光球的圆面边上更黑更红的原因是由于这种大气很厚，我们所看到的是“大气”更高更冷的一层，那儿的光也就更弱更红了。

太阳的自转

更精确更细致的观测可以发现太阳跟地球一样也以通过其中心的一根轴为中心自西向东旋转。同地球的情形一样，我们把转轴与表面相交的两点叫做太阳的两“极”，而把在两极中间的那个最大的圈叫做太阳的“赤道”。太阳赤道的自转

周期是 25.4 天，而太阳赤道的长度是地球赤道的 110 倍，因此它的自转速度是地球的 4 倍以上了。太阳赤道的自转速度约为每秒两千米。

这种自转的有趣之处是离赤道愈远的地方自转周期也愈长。在太阳的南北极附近，自转周期约为 36 天。假如太阳也同地球一样是固体，它的各部分的自转速度就要一致的。因此太阳就绝不可能是固体，至少在表面一层是这样。

太阳赤道与地球轨道平面的夹角是 7 度。它的方向在我们看起来，春天它的北极背离我们 7 度，而所看见的圆面中心约在太阳赤道南边约 7 度。夏天秋天就轮到与此相反的一种情形。

太阳的黑子（sun-spots）

用望远镜观测太阳时，我们常常能看到它的表面有一些黑色的斑点——我们称为黑子。这些黑子都随着太阳自转，也就是利用了这些黑子才更容易定出它的自转周期——在圆面中央出现的黑子在 6 天以后就会移到西部边上，然后从那儿消失不见；约在两星期以后，如这黑子仍旧存在，它又会在东面边上出现。

黑子的大小有很大的差别，从最好的望远镜中才看得见的微点一直到通过涂

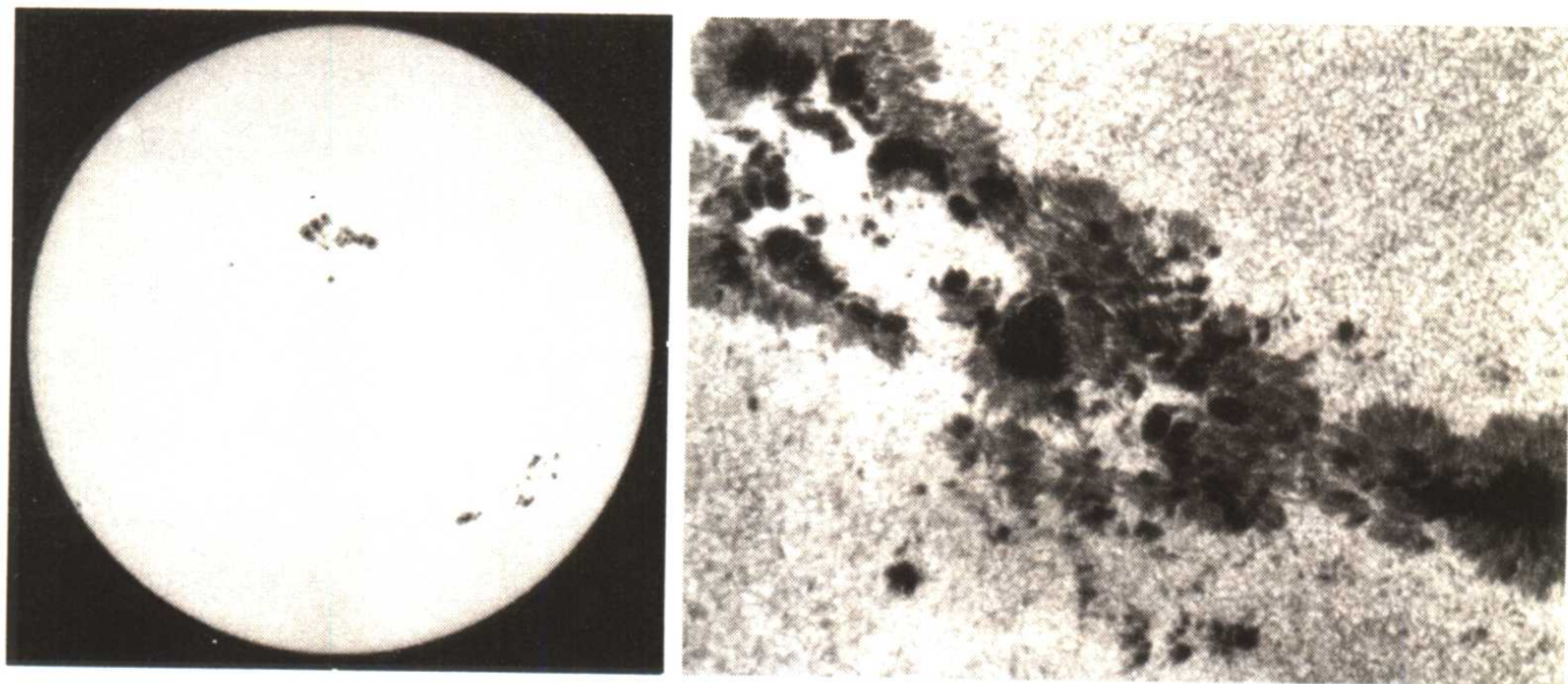


图 13　带黑子的太阳光球（左）太阳黑子详图（右）

黑的玻璃就能用肉眼观测到的大块都有。它们平常都成群出现，有时虽看不见单粒黑子，而它们的集团却可以为肉眼看见。单个黑子有的直径达 8 万千米，最大的一群黑子竟遮住了太阳表面圆盘的 1/6。

一群黑子发展下去时，它们都按与太阳赤道平行的圈子展开。从太阳自转方向来说，领头的黑子大半是全体中最大的而且是寿命最长的，往往在别的都消失了以后还存在。一群黑子常常只剩下一些单个的成员 。一群中最后生成的也往往很大。黑子中央更暗的部分叫做“本影”（umbra)，边上较亮的部分叫做“半影”(penumbra)。在分散的过程中，黑子分裂成一些很不规则的碎片。三百多年来的太阳黑子的观测（我国对太阳黑子的观测可追朔到《周易》中的“日中见斗”和“日中见沫”，不过确切的记录是汉成帝河平元年，即公元前 28 年，西方一直到 1611 年伽利略使用望远镜时才看到太阳黑子。）使我们知道了太阳黑子的频数是有一定规律的，周期约为 11 年一次。有些年份太阳上面很少黑子，甚至没有。1912 年如此，1923 年又如此。第二年出现的黑子数目就增多了一些；一年一年增加下去，其顶峰一般出现在 5 年后。以后又一年一年渐渐减少，直到周期满了才又增加。伽利略时代的人们就发现了这一变化，到了 1843 年由施瓦布（Schwabe）确立了它们的周期率。

太阳黑子数目改变的周期也是那更普遍的 11 年循环周期之一，这种周期是太阳与地球上的许多现象都依从的。深红的“日珥”（prominences）在太阳黑子最多时也最常出现。“日冕”（corona）随黑子的增加或减少而改变形状。地球上的“磁暴”（magnetic storm）——扰乱无线电信号传输和毁坏一些精密的电子设备的元凶——也和黑子一同增加强度与发生的频率。“极光”（aurora）也在黑子最多时更频繁而壮观地出现。气候则在这周期中会发生少许变化。

太阳黑子的出现及其周期性很显然与太阳的磁场有关。当前流行的太阳发电机理论试图通过研究太阳对流层中的流体运动和磁场的相互作用，来解释这种周期性以及太阳磁场的维持。1919 年拉莫尔（Lamor）提出了太阳发电机的概念。1955 年帕克（Paker）提出了自激发电机理论，奠定了湍流发电机理论的物理基础。按照这种理论，太阳黑子出现在磁场很强的太阳活动区，内部的相互作用会产生周期性振荡，并伴随出现表面磁场的细微变化。

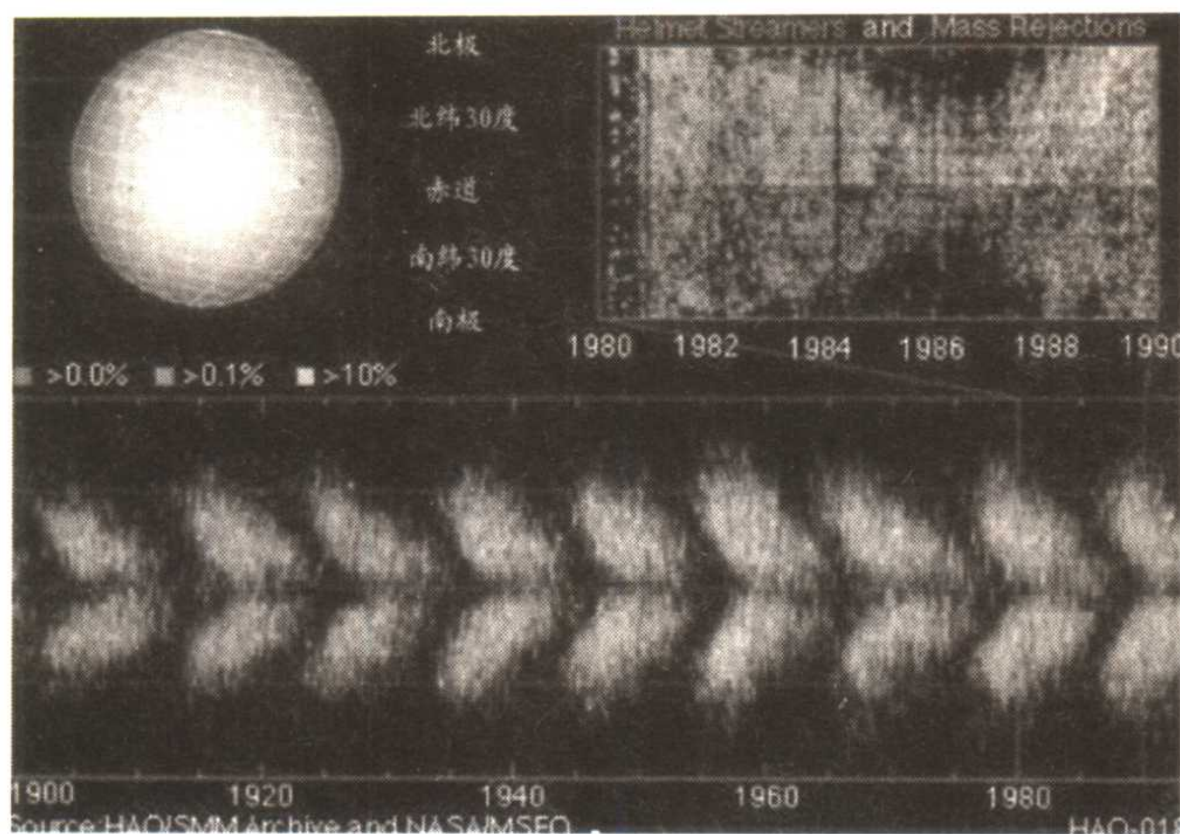


图 14 太阳黑子的纬度分布

太阳黑子的出现还有一条很有意思的规律：黑子并不是散布在太阳的全部表面上，而是在太阳纬度上的某些部分才有。在太阳的赤道上，黑子并不常见，可是离赤道向北或向南就逐渐多了起来，在南、北纬 15 度到 20 度是黑子出现最多的地方，再远又开始逐渐减少，30 度以上就很少出现了。这区域如图 14 所示，其中最黑的部分就是黑子最多的区域。如果我们用一个白色的圆代表太阳，每观察到一个黑子就在相当地方加一黑点，若干年后我们就会得到图 14 这样的图形了。

与黑子相反，太阳表面还常常出现一些较光球更明亮的斑点，这些斑点经常在黑子附近出现，这就是所谓的“耀斑” (facula)。

黑子的出现表示太阳上起了极大的风暴。它们很像我们地球上的飓风——只是大了许多倍而已。炽热的气体在太阳旋涡中向上飞腾，到达了比内部压力小得多的光球之后，这些气体就喷发出来，迅速冲出了表面。这样膨胀的结果就使得周围的温度稍微降低了一点，因此也减弱了这一区域的光辉——这就是太阳黑子。其实，菌状漩涡的平顶也还是极热极亮的。看起来稍微黯淡些只是因为跟周围平静的太阳表面相比温度要低了一些的缘故。

地上的包括飓风在内的所有旋涡由于地球的自转，在北半球逆时针方向旋转，在南半球却是顺时针旋转。太阳黑子与之类似，在太阳赤道北的太阳黑子与太阳赤道南的太阳黑子的旋转方向恰恰相反，因此可以看出太阳的自转。但太阳上风暴的情形比地球上风暴的情形更加复杂，因为随从的黑子常常跟领头的黑子有相反的旋转方向，更后出生的黑子的旋向则受之前已经存在的黑子群的影响，更为

复杂。

太阳黑子的旋涡中心压力较低，因此附近的气体为其所吸引，在下降时也还是旋转着。这种情形在照片中可以看得很清楚。

二百年前，美国的海尔（Hale）和法国的德朗德（Deslandres）各自独立地发明了太阳单色光照相仪（spectroheliograph）。这是连接在望远镜上的一部分，利用它可以单独给某一特定的元素所发出的光照相，例如钙光或氢光。当利用这种仪器给太阳进行氢光摄影时，拍摄到的“谱斑”（flocculi）相片就从太阳黑子附近的形态分布显出了旋涡的存在。

为了消除大气层对太阳观测的不利的影响，20 世纪 60 年代以来，空间探测器以及各种探测太阳的人造卫星陆续被发射升空，如太阳辐射监测卫星、轨道太阳观测站、国际日地探险者和太阳风年探测卫星等。这些携带了各类精密仪器的卫星对太阳进行了全方位、多角度的研究，其中包括黑子周期现象，并且获得了很多出色的成果。有了这些卫星的帮助，我们可以比较准确地预报太阳黑子和耀斑的爆发，从而避免磁暴对电子设备的损害。

日珥与色球

太阳另一个特别有趣的地方就是日珥。我们在研究这个太阳神秘而美丽的部分时曾经有一段很有趣的历史，不久说到日食时我们将要提到。日珥是从太阳各部分射出来的非常稀薄灼热的大团气体。它们是如此之大，竟使得地球投入其中只能如同一粒沙子投进烛焰一样。它们升起时的速度也非常可观，有时竟高达每秒钟数百千米。它们也同耀斑一样常常在黑子丛生的地带出没，但并不仅限于那些地区。太阳周围的眩目光焰（其实这是由我们地球大气层的折光效果所造成的）使它们绝不可能为肉眼所见，甚至用正规的天文望远镜也不能看见——除非碰到日全食，因为月球的干涉才消去那一层光焰。那时它们就连肉眼也能看见，仿佛是从黑暗的月亮的边上投射出来的火焰。

日珥有两种：一是爆发日珥，一是宁静日珥。第一种从太阳上升起时像巨大而翻滚的火浪；另一种却似乎静静地悬在上面，像空中的浮云一样。我们不能确

定是什么东西支持着它们，但这大概是太阳光的一种排斥力。

光谱的分析告诉我们这些日珥是由氢、钙以及少量其他元素构成的。它们的红色是由于含有大量的氢元素。更进一步的研究又告诉我们，日珥与布满于光球上的薄气层有关。这薄气层就叫做“色球”（chromosphere)，因为它有和日珥一样的深红色——从这一点可以得知，同日珥一样，色球由和日珥基本类似的元素组成，其主要成分也是氢。

对于太阳最外层的附属品，应该注意的还有“日冕”。这是只在日全食时才看得见的环绕太阳的柔软的光辉，它从太阳展开的光线之长有时竟超过太阳直径。它是由极端稀薄的气体组成的。在日食一章中我们还会提到它。

太阳风

人们很早以前就发现彗星的尾巴总是背向太阳，于是猜想这大概是从太阳“吹”出来的某种物质造成的，直到 1958 年才通过人造卫星上的粒子探测器探测到了太阳上有微粒流射出。美国的帕克给它取名为“太阳风”。

太阳风是从太阳大气最外层的日冕向空间持续抛射出来的物质粒子流。这种微粒流是从日冕的冕洞中喷射出来的。

经过长期的观测，我们发现太阳风的主要成分是质子、电子和氦原子核。其中质子约占 91%，氦核约占 8%，此外还含有微量的电离氧、铁等元素。其密度则随时变化。

太阳风有两种。一种是“宁静太阳风”，它是粒子持续不断地被辐射出来，速度较小，在飞到地球附近时，平均速度约为每秒 450 千米，粒子含量也比较少，每立方厘米含质子数为 1~10 个。

另一种太阳风是“扰动太阳风”，它是在太阳活动剧烈时辐射出来，速度比较大。在飞到地球附近时，速度可达每秒 2 000 千米，粒子含量也比较多，每立方厘米含质子数约为几十个。它对地球的影响很大，当它抵达地球时，往往引起很大的磁暴与强烈的极光，同时骚扰电离层，极大地干扰了靠电离层反射传播的短波通信。

太阳的结构

现在我们再回顾一下我们所知所见的太阳究竟是什么样子的。

首先是那球体的广大的内部，那是我们当然永远见不到的。

我们肉眼所见的太阳表面是光球——虽然这不是真正的表面，只是球体光度最大的部分。这气层上有一些斑驳的黑子，也会经常产生耀斑。

在光球的顶上又有一层气体叫做色球，这用分光仪在任何时候都看得见，可是直接看却只有在日全食的时候才可以。

从红色的色球喷发出同样红的火焰叫做日珥。

包围全部的是日冕。

以上是我们所见的太阳。我们知不知道太阳究竟是什么呢？首先，它究竟是固体呢，液体呢，还是气体呢，或者是别的什么形态？

看得见的表面不是固体已由它的自转的性质表明了。我们已知道它的表面上的各部分自转周期是不相同的。而且，它的极高的温度也不能让它是固体或者液体的。许多年来大家都相信太阳内部一定是一大团等离子体——一种具有很多奇妙性质的物质状态——但被太阳巨大的引力压成非常致密的状态——事实上按照物理理论，我们认为理想气体的状态方程仍然适用于太阳内部，所以我们也可以将其看作是气体。

人人都会承认太阳一定是极热的。它能在1.4亿多千米外让我们感受到炎炎夏日的威力，本身当然更是要热极了。这从适当的测算看来也是真的——作为太阳辐射直接来源的光球已有6 000℃以上的高温了。

不同方法对太阳表面温度所作的测量都可以得到相同的结果。这些方法都遵循同一个途径——辐射体温度与辐射功率之间是有确定的关系的。譬如说，辐射与温度的4次方成比例。这就是所谓斯特藩定律（Stefan′s law）。这定律告诉我们，如果辐射体的温度加倍，它的辐射出的热量就要增大16倍。

假设用一个平底盆盛1厘米深的冷水，让太阳光直射下去。1分钟后，如果没有空气的影响而水又没有热量损失的话，温度计就会读出水的温度约增高了2℃。

因此，假如有一层1厘米厚的冷水组成的球形的壳，半径恰等于地球对太阳的距离，恰好将太阳围在正中，在1分钟后就会增加上述的温度。既然这一壳层

已经将太阳完全包住，那么我们就已经在 1 分钟内捉住了太阳的全部辐射了。

由这种测算得出从太阳表面的每平方米中都不息地流出 8.4 万马力的能量来。再依据辐射定律，我们又可以由此推算出太阳的温度来。实际上我们不用水盆和普通温度计，却是用一种很精巧的仪器——“太阳热量计”（pyrheliometer）。用这种仪器的观测已在史密森天体物理学天文台（Smithsonian Astrophysical Observatory）的各个分部进行了许多年了。

因为我们不能看见光球以下的太阳内部，所以要得到一个关于太阳内部情况的明确概念就非常困难。但我们完全可以假定越深处的压力与温度越高。早在 1870 年美国物理学家莱恩（Lane）就已经计算过太阳内部的温度，他假定里面各处都在一种平衡的状态中。太阳内部每一点上物质的全部重量都完全被下面热气体的膨胀力所支持。问题便是算出内部要热到什么程度才可以使太阳不致被自己的重量压碎。

20 世纪 30 年代，关于太阳及星辰内部的理论成了英国的爱丁顿（Eddington）、詹姆斯（Jeans）、米尔恩（Milne）等人研究的热点。爱丁顿计算出太阳中心的密度约为水的 50 倍，而温度约为 3 000 万℃至 4 000 万℃。米尔恩推算出来的中心密度与温度比此数目还要大得多。按目前的太阳模型推算，太阳内核的气体被极度压缩，其中心密度是水的 150 倍，而温度约为 1 560 万℃！

太阳的热源

太阳从它表面上每 1 平方米倾注出 8.4 万马力的能量。既然知道太阳直径是 140 万千米，我们就很容易算出它的表面有多少平方米了。这巨大的数目再乘以 8.4 万，就可得到以马力表示的太阳不停散发的全部能量的巨大数目了。当我们想到照地质学家和生物学家的说法，太阳已用与现在同样的强度照耀了 5 000 万年的时候，我们就遇上一个重要而且困难的问题了。

这种辐射能量的来源在什么地方？当然它是直接由光球来的。可是一定还得有新的能量供给不断地到达光球，才能维持不断的辐射。那么，这种使太阳一天一天照耀过了 5 000 万年的、仿佛永不耗竭的内在供给的来源到底是什么呢？

据能量不灭定律，能量不可能无中生有。它可以由这种形态变到那种形态，可是宇宙间能量的总量是不能增加的。除非太阳从外面不断地接收能量，它的储藏一定要按我们上述的比率减少下去。我们完全可以假定这储藏总会有一天完全耗尽，太阳会渐暗下去以至于完全无光。可是太阳一百年又一百年地照耀下去，看起来光辉丝毫未减，这怎么可能呢？

两百多年以前，物理学家亥姆霍兹（Helmholtz）曾经创出太阳热的收缩学说，以后的许多年来都被当时的科学家认为是真实的情况。他的观点是：如果太阳半径每年收缩 43 米，就足够产生一年中由辐射而失去的热量。依这学说，太阳从前是更巨大更稀薄的。按照收缩说，将来太阳将会紧密得不能收缩以适应由辐射而来的热的损失。几百万年以后，它将会冷得不能再维持地球上的生命。

这种收缩学说画出了一幅黯淡的远景，它显示了生物世界的末日只在很短的时期以后——至少照天文学尺度说来是很短的。但在 19 世纪初，收缩说遇到了强烈的反驳——不论从多大的体积收缩到现在这样，太阳照现在这样发光率，只要两千万年多一点就足够得到充分的热量了。但依这比率它却一定照得比这时期更长得多的，于是收缩说就不能解释太阳在过去如何维持辐射了。因此对于这理论对将来的预言，我们也就不能抱多大的信任。而且事实上太阳的逐渐收缩又绝无确切的证明，因此就渐渐被人们所抛弃了。

20 世纪初，随着相对论以及核物理学的发展，人们认识到太阳和恒星的能源来自于核能的释放。光谱观测的结果表明，恒星物质内部氢的含量相当丰富，而氢又是很好的产能原料。当氢在高温和高压下聚变成氦时，会有巨大的核能释放，因此可以维持太阳和恒星向外辐射达数十亿年之久。

1926 年，英国剑桥大学著名的天文学教授阿瑟·爱丁顿（A. Edington）爵士出版了他的《恒星内部结构》一书，这是一部关于恒星内部情况极其物理特性的卓越著作。爱丁顿认为，太阳通过重力把物质聚集在一起，重力将物质拉向中心。由于太阳内部高温的气体产生的压力与重力方向相反，它将物体向外推出，这两个力互相平衡。达到这平衡点时，由经典力学和热力学原理，我们可以算出恒星的中心温度将达到 4 000 万℃左右。爱丁顿认为在这样的温度下，氢核会发生聚变，为太阳和恒星提供了强大的辐射能量。

但是爱丁顿的想法遭到了物理学家们的竭力反对。他们认为要真正实现这一

聚变，温度应达到几百亿摄氏度。而 4 000 万℃太低了，不足以克服原子核之间极其强大的电磁力而产生氢核聚变。但是乌兰克核物理学家和宇宙学家乔治·伽莫夫（G. Gamow）的工作证明了物理学家们的猜测是错误的。

伽莫夫认为，虽然镭核内的粒子受到核力的约束，但按照现代量子理论，它们并非不可能分裂出 α 粒子来的，尽管发生这种过程的概率很小。镭核中的粒子被核力所束缚，就好像有一座堡垒从外界将它们包围住一样，粒子的能量不足以越过这座堡垒而跑到外边去。量子力学却认为，核内的粒子在偶然间可以不从堡垒的上面越过去，而是从穿过堡垒的一条隧道中通过。人们把这种现象形象地说成是“量子隧穿”。伽莫夫进一步指出，假如粒子能够由内向外穿过堡垒，那么，粒子也应该能够由外向内穿过它而进入原子核内。

1929 年，英国天文学家罗伯特·阿特金森（R. Atkinson）和德国核物理学家弗里茨·豪特曼斯（F. Houtermans）合作，发表了一篇题为“关于恒星内部元素结构的可能性问题”的文章，将伽莫夫的量子隧穿理论应用到恒星内部能量的问题上。他们认为：恒星内部的质子和质子也可以通过“隧道”越过势垒很高的堡垒，接近到可以发生聚变的距离之内，进行轻核聚变而释放出巨大的能量。这样，他们就成功地解决了在较低温度下使氢聚变为氦来实现太阳的能量需求，由于这种反应是在数千万摄氏度下进行的，他们就把这种反应称为“热核反应”。

天文观测表明，太阳核心的物质处于等离子态，完全适合于热核反应的物理条件。那么，太阳和恒星内部的氢是怎样聚变为氦的呢？1938 年，美国核物理学家汉斯·贝特（H. Bethe）和查理斯·克里奇菲尔德（C. L. Critchfield）发现了氢直接变为氦的反应机制，称为“质子—质子循环”。在这一反应中 1 克氢将释放 6 700 亿焦耳的核能，这些核能迅速转化为热能，并通过对流和辐射向太阳的外层空间输送出去。

贝特又和德国的弗里德里希·冯·魏茨泽克（F. V. Wetabckor）各自独立地找到了由氢转变为氦的“碳循环”机制。现代天文观测表明，太阳的能量 98%来源于质子–质子循环，2%来源于碳循环。贝特也因该理论的创立而获 1967 年度诺贝尔物理学奖。

太阳的演化

现代的观测表明，太阳已有 50 亿年的历史。它是一个典型的中等质量恒星，正平稳地燃烧着自身的核储备，并把氢转变为氦。现在人们对恒星演化的知识逐渐完善，并勾勒出太阳的生命历程。

幼年阶段，原始星云在自身引力作用下不断收缩，密度不断增大，温度不断升高。历时数千万年形成原始太阳。

青年阶段，太阳位于非常稳定的主星序（参看“恒星”一编），按照观测得到的氢和氦的丰度估计，太阳还可以生存 50 亿年之久。今天的太阳正处在它的鼎盛时期。

中年阶段，约持续 10 亿年时间。当热核反应的燃烧圈接近一半太阳半径时，将会难以支持太阳自身的巨大引力，中心将会塌缩，这个塌缩过程中所释放的巨大能量使太阳的外部大幅膨胀，这时的太阳体积很大、密度很小、表面亮度很强，演化为一颗红巨星。太阳直径将扩大到现在的 250 倍，连地球都将被吞没。

老年阶段，太阳转变为一颗脉动变星，终于，内部核能耗尽，整体发生坍塌，内部被压缩成一个密度很高的核心，冷却后形成一颗白矮星，并长久地留在宇宙中。

第三章　地球

既然我们所居住的这球体是行星之一，那么即使它没有别的值得我们注意的地方，也该要描述一下它在天体中的地位了。虽然它跟宇宙间大天体比起来，甚至跟我们太阳系的大行星比起来，它只是微不足道的一员，可是在它自己的系统中却还是最大的一个。至于它是人类的家园——这一点我们更不用说了。

地球是什么？我们可以先下一个广泛的定义，说它是一个物质的球体，约有1万多千米的直径，由于其各部分的互相吸引而联成一体。我们都知道它并非严格的球形，它的赤道部分稍微鼓起来一些。因为它表面的不平，于是确定它的准确的大小与形状也就比较困难。幸好人造卫星技术的进展帮助人们解决了这个难题。

关于地球形状及大小的结论可概括如下：

极直径12 713.6千米

赤道直径12 756.3千米

我们由此可以看出赤道直径比极直径大42.7千米了。

地球的内部

我们由直接观察所知的地球差不多完全限于它的表面。人类在上面挖穿的最深处与全球大小比起来不过像苹果皮之于苹果一样。

我先要请读者注意一下地球上的重量、压力、重力等事实。我们试着研究一块1立方米的泥土，这是地球外层表面的一部分。这块泥土加在自己底上的重量也许是2.5吨。下面1立方米也有同样重量，因此加在自己底上的重量就是自身重量加上面1立方米的重量了。这种压力的增加一直随着我们的深入。地球内部的

每 1 平方米都支持着一直到表面的 1 平方米的柱形的压力。表面下不到若干厘米的地方这种压力就以吨计了；1 千米深的地方大概是 2 500 吨；100 千米的地方就是 25 万吨了；这样一直继续到中心。在这种不可思议的压力之下，地球中部的物质被高度地压缩。那儿的物质也更沉重。地球的平均密度被认为等于水的 5.52 倍，但其表面密度却只有水的两三倍。

关于地球的确定事实之一就是在表面以下的矿坑中，愈深处温度愈高。增加的比率依地域与纬度而各处不同，平均增加率是每下降约 30 米增高 1℃。

这种温度的增加到地球中心时将怎样呢？回答这问题我们可以说不能仅仅根据表面的情形。因为地球外部在很久以前就冷却了，所以我们不能在下降时得到很大的温度增加。从地球存在以来热量都被保持着这一点事实，表明中心温度一定更高，而近表面的温度增加的比率也一定会保持到更深的若干千米直到地球的内部。

依照这增加率来看，地球的 20 千米或 25 千米深的地方的物质一定是灼热的，而 200 千米或 250 千米以下的热度则一定足以熔化所有构成地壳的物质了。这事实使早期的地质学家认为我们的地球是一个熔化了的大块，正如一大块熔化了的铁，上面蒙了一层几千米厚的冷壳层，我们就居住在这壳上。火山的存在以及地震的发生都增加了这种见解的可靠性。

但在 19 世纪 20 年代，天文学家与物理学家收集了一些证据，似乎证明地球从中心到表面都是固体，甚至比同样大的一块钢还坚硬。这学说是开尔文爵士（Lord Kelvin）第一个发展的。他认为如果地球是被一层壳包着的液体，月亮的作用就不是吸起海洋的潮汐而只要将全地球向月亮的方向拉起来，却不改变壳与水之间的相对位置。

同样可靠的是那奇特的现象，地球表面的纬度变迁，这在下面我们就要讲到。不仅一个内部柔软的球体不能像地球这样旋转，甚至硬度不如钢的球体也不能。

那么我们如何能调和这固体性质与那不可思议的高温度呢？看来只有一个可能的解决方法：地球内部的物质因那巨大的压力而保持其为固体。据实验证明：强大的压力能提高物质的熔点，压力越大，熔点就越高。一块岩石到了熔点以后再加以重压，压力的结果使它又还原为固体。因此，我们增加了温度只要同时考虑压力的问题就可以使地球中心物质保持固体了。

当然我们还有一些实际的办法来获得证据，在地表人工制造一个震源（如炸弹），通过接受地下的回波来确知地下结构。通过地震技术获得的资料发现，地球的内核与地壳为实体，而中间的外核与地幔层为流体。地核可能大多由铁构成，虽然也有可能是一些较轻的物质。地核中心的温度可能高达 7 200℃，比太阳表面还热；下地幔可能由硅、镁、氧和一些铁、钙、铝构成；上地幔大多由橄榄石、辉石、钙、铝构成。地壳主要由石英和类长石的其他硅酸盐构成。

地球的重力与密度

与地球有关的另一有趣问题就是它的密度，或说比重。我们都知道一块铅比同样大的一块铁要重，而一块铁又比同样大的一块木头重。是不是有方法确定地球广大内部的深处一立方米有多重呢？如果有方法，我们就能确定全地球的实在重量了。这问题的解决要依赖物质的引力。

任何小孩从会走路时起就很熟悉于万有引力的效应了，可是最深刻的哲学家也不能真正明白它的起因。依照牛顿的万有引力的学说，将所有地面上的东西引向中心去的力量并不仅存在于地球的中心，却由于构成地球的一切物质的共同努力。牛顿还把他的学说更推进一层，说宇宙间一切物质都吸引着其他的物质，而这引力的大小是依两者之间距离增加按平方规律减少的。这就是说，距离加 1 倍，引力的大小就要除以 4；远 3 倍除以 9；远 4 倍除以 16，依此类推。

承认了这一点，那么我们四周的物体就都有自己的引力了，于是我们又有问题了：我们能不能用实验测出这引力的大小呢？数学理论说明，同等比重的球体吸引其表面小物体的力量与其直径成比例。一个直径 60 厘米、密度跟地球一样的球体的引力就只有地球重力的两千万分之一。

于是，绝顶聪明的卡文迪许用了一个极其巧妙的方法，测定出了万有引力的大小。他用一根很细的石英丝来悬挂一根两端有两个等重铅球的轻质金属竿。然后在其中一个铅球旁边放上第三个铅球，通过石英丝扭曲的程度，就可以测得这两个铅球之间的引力了。这种测量是异常精巧而困难的。所用的工具虽然在原则上来讲是极简单的，但是我们必须记得，引力的大小还不及这两个小球重量的千

万分之一呢！要找出一件重量不超过这引力的东西的确非常困难，不仅是一只蚊子的重量，就连蚊子的一条腿所受到的重力，也要大大的超过测出的引力。假如把蚊子放在显微镜下，由专家施行手术将它的触须切下一部分来，这个重力大概可以和这两球之间的引力相比拟了。

赫尔（Heyl）在美国度量衡标准局所确定的万有引力常数是最精密的。这种测量的结果使我们知道，地球的平均密度比水的5.5倍略多一点。这比铁的密度稍微小了一点，可是比平常石头的密度却大不少。由于地球外壳的平均密度仅是这数目的一半，所以地球中心的物质被强大的压力压紧得致密无比——不仅比通常铁的密度大得多，简直要超过铅了——事实上，目前主流的理论认为，地核的中心那种无比紧密的物质，很可能就是大量致密的铁。我们可以把地球的中心想象成一个巨大的大铁块。

纬度的变迁

我们知道地球在通过其中心在两极与表面相交的一根轴上旋转。我们想象自己正站在极的中心，在地上竖一根棒，我们那时就会被地球带着每24小时绕棒旋转一周了。我们能感知到这种运动，是因为我们能看到太阳星辰都由于周日运动而向反方向水平运行。可是我们更有一个伟大的发现——纬度的变迁。旋转的地轴与地球表面相交的那一点并不是固定的，而是在一个直径约18米的圆圈中作可变而不规则的曲线运动。换句话说，如果我们能精确地找到北极上的那一个极点，那我们就会看到它每天移动10厘米、20厘米或30厘米，并且绕着一个中心点转，它有时离这点近些，有时则远些。它照这不大规则的路线运动下去，约14个月就能绕成一圆圈。

讲到这里，我们不禁要奇怪，相对地球这样大尺度的物体，这小小的变动是如何发现的呢？回答是：利用天文观测，我们就可以在任何夜间测定当地铅垂线与当日地球自转轴所成的精确角度。1900年国际大地测量学会（International Geodetic Association）在地球四面设立了四五个观测点来测量这种极点的变动。一处在盖瑟斯堡（Gaithersburg），另一处在太平洋岸，第三处在日本，第四处在意大

利。在这以前，在欧美的许多地方已经完成了类似的观测。

上述这种变迁最先是在1888年被德国的库斯特耐尔（Küstner）发现，他从许许多多为别的目的而进行的天文观测中得出了这个结论。从此以后，这方面的考察就一直延续下来，目的是确定上述的变迁的运动曲线。直到现在所知的只是这种变迁有些年份较大而有些年份较小。从结果来看，在七年之中定有一年北极点会划出一个比较大的圈子，而三四年后它又会保持数月几乎不离中心。

地球自转时快时慢的不规则变化，同样可以在天文观测资料的分析中得到证实，这种变化的幅度约为1毫秒。此外，地球自转的不规则变化还包括周期为近十年甚至数十年不等的所谓“十年尺度”变化和周期为2~7年的所谓“年际变化”。十年尺度变化的幅度可以达到约3毫秒，引起这种变化的真正机制目前尚不清楚，其中最有可能的原因是地核与地幔间的互相作用。年际变化的幅度为0.2~0.3毫秒，相当于十年尺度变化幅度的十分之一。这种年际变化与厄尔尼诺现象期间，赤道东太平洋海水温度的异常变化具有相当的一致性，因此可能与全球性大气环流有关。然而引起这种一致性的真正原因目前仍然是一个谜团。

大气

从天文学的角度来看和从物理学方面一样，大气都是地球的一件最重要的附属品。虽然它对我们的生活非常必要，却给了天文学家带来了进行精密观测的巨大障碍。它多少会吸收去一些从中经过的光，因此微微改变了天体的真实色彩，即使在极晴朗的夜空也不免使得星星比原来更黯淡。它还会弯曲从中经过的光，使它沿一条微曲的路线（这线对地球而言是凹的），却不是直射入天文学家的眼里。结果又使星辰都看起来离地平线比实际位置高了一些。从天顶直射下来的星光是不受弯曲的，离天顶愈远则折光愈甚。在离天顶45度时，折光之差达到了一弧分，虽然这个曲折的程度肉眼发现不了，但在天文学家看来已是很大的误差了。物体越靠近地平线，其折光率就越大；离地平线28度时已比45度时增大了一倍；在地平线上眼见的天体由折光引起的误差已在半度以上，这已比肉眼所看到的太阳和月亮的直径还要大了。结果就是，在日出日落的时候，我们在地平线上看到

的太阳实际上是在地平线以下。我们看得见它只是因为折光的缘故。地平附近折光率增大的另一有趣的结果就是，太阳在那儿看起来要扁一些，它的垂直直径要比水平的直径看起来短。这是因为太阳的下半部较上半部受到的折光率更大。有机会在海上看日出或者日落的话，任何人都可以看到这种景观。

当太阳在热带晴朗的空气中沉下海洋去时，我们可以看到一种在温带浓厚的空气中很难见到的美丽景观。由于大气对各色光线有不同的折射率，大气也像一片三棱镜一样按不同的角度折射不同的光线：对于红色光线折射最少，按红、橙、黄、绿、蓝、靛、紫的顺序逐渐增大折射的角度。结果，当太阳在海平面上消失的时候，最后的一串光线也按同样的顺序逐渐消失。太阳逝去前两三秒钟，它的残留可见的边缘会很迅速地改变颜色，并且越来越暗。我们最后见到的是转瞬即逝的一道绿色的闪光。至于波长更短、折射更大的蓝光紫光，则在达到我们眼睛之前已经被大气散射和吸收了。

第四章　月亮

各种不同的测量都一致认为，月亮到地球的平均距离约 38.6 万千米。得到这距离的方法是直接测量视差（以后我们要说），还有一种是计算月亮绕地球的轨道运动。因为这轨道是椭圆的，所以它的实际距离常常会不同，有时它比平均距离少 1.6 万千米或 2.4 万千米，有时却又多出了这个数目。

月球的直径比地球直径的四分之一略大一点，准确些说是 3 476 千米。最精密的测量也未发现它不成球形，只不过表面是不规则的罢了。

月亮的公转与位相

月亮陪着地球绕日运行。这两种运动的联合在部分读者的眼中看来要觉得稍为复杂些，但其实并不难明白。我们可以想象一下有一把椅子放在急行火车中，一个人离椅子一米远绕着椅子转。他可以不论转多少次也不改变距离，更与火车的运动毫无牵涉。就像这样，地球在自己的轨道中向前运行，月亮连续绕着它转，而相对地球的距离并无多大变动。

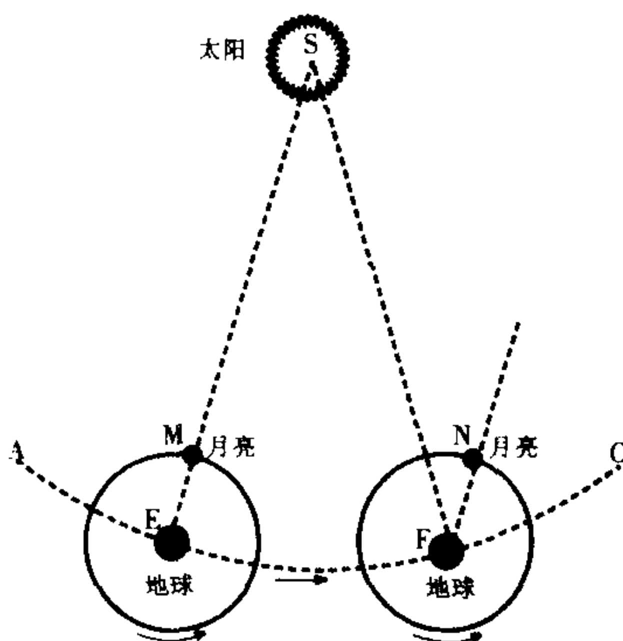


图 15　月亮绕地球的公转

月亮绕地球一周实际所需的时间是 27 日又 8 小时，但从一新月（朔）到另一新月所经历的时间却是 29 日又 13 小时。这种不同是因为地球同时也绕着太阳运动，或者说（实际上意思一样）因为太阳顺着黄道的视运动。要表明这一点，画 AC 弧作为地球绕日轨道的一段。假定某一时候地球在 E 点，月亮在 M 点正处于地球、太阳之间。27 日又 8 小时之后，地球已从 E 点移到 F 点。当地球这样运行的时候，月亮也按自己轨道顺箭头方向前进，这时恰到 N 点。这时 EM 线与 FN 线是平行的，因此月亮实际已完成它的公转一周，看来又回到和上次一样的众星之间的位置了。可是太阳此时在 FS 方向上。因此月亮要回到太阳地球之间的位置上就必须再运动一些时间不可。这又需要两天多一点的时光，于是两个新月之间的时间就成了 29.5 天了。

月亮的不同的位相（phases）是随它对太阳的位置而定的。因为它是不能自己发光的物体，我们只是在太阳照到它的时候才看见它。它在太阳跟我们之间的时候，它的黑暗的一半对着我们，就完全不能被看见。历书中称这为“新月（朔)”，但我们平常在新月的后两日还不能看见月亮，因为它还在黄昏的暮霭中。在第二天或第三天我们才看到这球形被照亮的一小部分，形状正是我们所熟悉的一弯蛾眉。这蛾眉月有时也被叫做新月，虽然历书中的新月期要更早几天。

在这位置上又过了几天之后，我们就可以看见到月亮的全貌了——黑暗部分发着黯弱的光，这是从地球上反射去的光。假如有人在月亮上居住，他会看见在他的天空上，地球像一轮将圆的兰色满月——虽然实际上要比我们所见的月亮大得多。月亮在它的轨道中一天天前进，这种地光就一天天减少，约在上弦时地光没有了，一方面因为月亮上有光部分在逐渐增加光强，另一方面也因为地球的光减弱了，下弦时亦复如此。

在历书中的新月（朔）后约七八天，月亮就到了上弦期。我们就可以看到明亮的部分占月亮的一半。以后的一星期内，月亮被叫做“凸月”（gibbous phase)。在新月后第二星期的末尾（望)，月亮正与太阳相对，我们就可以见到月亮宛如明亮玉盘的全面，这被称为满月。之后，月亮的位相则会反转并还原，这是人人知道的。

我们也许会认为这些事情实在太平常不值得叙述。可是，在“古舟子歌”（The Ancient Mariner，英国诗人 Coleridge 的名作）中竟描写了一颗星挂在蛾眉月

的两尖之间，好像那儿没有黑暗物体一样。大概有过不止一个诗人描写过新月出现于东天而傍晚的一轮满月却赫然照耀于西天吧——尽管很有诗意，但是这显然绝不可能发生。

月亮的表面

我们用肉眼也可看出月亮表面上有着不同的明暗区域。暗的地方常被人看成像一个人的面孔，尤其是鼻子与眼睛更加显然。这就是所谓“月中人”了。就算用最小的望远镜我们也可以看出月面上有繁复的地形，望远镜越好，我们所看到的也愈细微。我们在望远镜中所见的第一样触目的东西将是那些隆起物，或按照平常说法是那些山。这些最好在上下弦月时看，那时日出或日没照出的长影使那些突起处显得更加清晰，反倒是满月时不易看清，因为太阳光几乎是直射在上面而把一切都照亮了。虽然平常把这些高低的地方叫做山，但它们大半却跟地上普通的山形状大不相同，与地上大火山的喷口倒更类似些。这些山很通常的形状是一座圆形碉堡，直径常有若干千米，周围的墙也有近一千米高，而中间则相当平坦——因此我们称之为环形山。在许多这样的月亮环形山中央，有一个或更多的山峰拔地而起。在上弦月中我们可看出这些围墙以及中央山峰的影子投在内部平地上。

早期的观测者在用望远镜观察月亮后，假定其中黑暗的部分是海，而明亮的部分是大陆。这种想法是因为黑暗的部分看起来比别处平坦。这些假想的海洋于是都有了名称，例如 Mare Imbrium（雨海），Mare Serenitatis（澄海）。这些名称虽皆出于幻想，却保留到了现在，用来称呼月亮上的黑暗部分。望远镜稍进一步的改良就证明这些暗区为海洋的想法全是空幻不实的，这些形状的不同只是由于月面物影的明暗，而月海其实是月亮上地势比较低洼的平原而已。自从探月卫星和人类登月计划以来，我们就可以身临其境，仔细瞧瞧月亮上的大小石块和著名的环形山了。现在我们已经知道，覆盖月球表面达 16%的月海地形是由火山喷出的炽热的熔岩冲蚀出的，而其余大部分表面则被灰土层尘埃与流星撞击的石头碎片覆盖。

月亮上最可注意的景物之一就是从某些点上发射出的一些明亮的光线。很一

般的望远镜也可看出其中最显眼的来。在月球南极附近，第谷（Tycho）环形山旁，就是许多很美的光线散发的中心点，看上去好像月亮被敲破了而空隙充满了熔化的白色的物质，因此有人相信当年月亮上是大火山的施威场所，而今却都烟消云散了。但这些线状辐射纹的成因尚无定论，也有人认为是陨石轰击月面造成的。

常有人问月亮上有无空气或水。早在人类登上月球之前，科学家就给出了否定的答案：假若月亮上的大气能有地上大气密度的百分之一，我们也可以通过星光从月面掠过时的折射发现其存在。可是我们一点也没有见到存在这种折光的迹象。假若月亮上有水，就一定会藏在凹处或在低处流着。假若在赤道区有这样一片水，就一定会反射太阳的光，因而会很明显地被我们看见——而月球探测器和登上月球的宇航员证实了我们在地球上得到的结论。



图 16　月球表面

以上种种似乎都想来答复另一问题——就是月亮上是否有生命存在的问题。而地球上所有的生命都必须要空气和水来维持。

月亮上完全没有水和空气的事实造成了一种我们在地球上经历不到的情形。可以确信，月面上除了被新的太空陨石撞击之外，将永远毫无变化。地面上的一块石头永远遭受气候的折磨，于是风和水年复一年将它解散冲开，最后成为沙子和土壤——这就是所谓的风化。可是月面上并无气候变异，一块石头躺在上面可以经历若干千万年而遇不到任何一点扰害。月面当太阳照着时异常之热，而日落之后又变得非常的冷——因为没有大气层来保持温度，这温度的变化将在太阳隐去后非常短暂的时间内完成。除了这种温度的变化以及流星的撞击以外，整个月面是绝对平静无事的——一个没有风、没有雨、没有四季更替、没有朝露晚霞、没有气候、除了大大小小偶尔落下的流星之外没有任何事件发生的死寂世界——这就是月亮。

月亮的自转

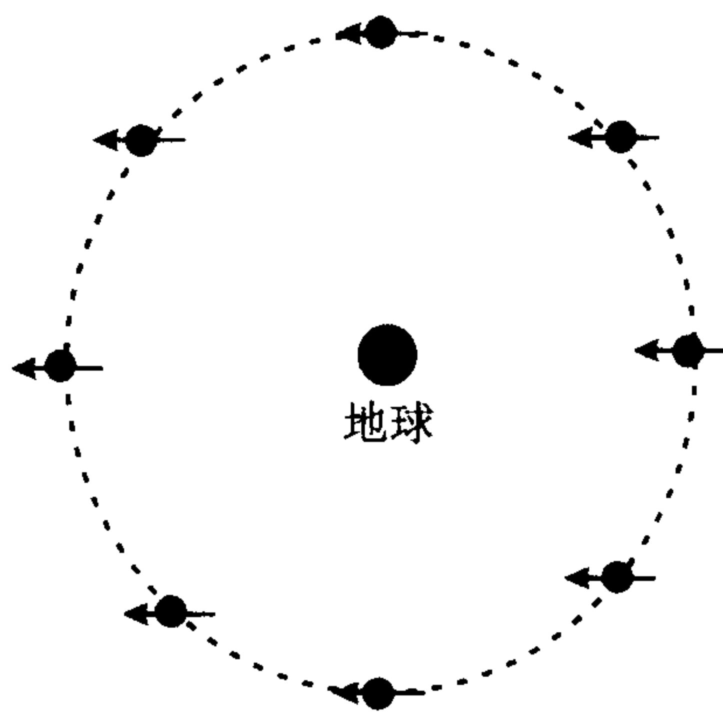


图 17　假如月亮不自转时月亮的运动

月亮是否绕轴自转这个问题在古代曾经引起过许多争论，因此我们要解释一下。人人都知道月亮永远以同一面对着我们。这说明它的自转周期跟它绕地球公转的周期是一致的。也许有人因此认为它根本不旋转。这混乱的产生是因为关于运动的概念不同。在物理学中我们这样判断一个物体是否旋转：用一根直线通过除转轴外的任何方向，如果这根直线永远不改变方向，那么我们就说这个物体不旋转。我们假想有这样一根线通过月球，如果月球不自转，那这根线就永不变方向——无论月亮在绕地球轨道中的哪一点上（如图 17 所示）。稍微仔细地研究一下这幅图就可以知道：如果不是月亮自己也旋转，那我们就一定会看到它全表面的各个部分的。

月亮如何引起潮汐

住在海边的人都特别熟悉海潮的涨落。平均说来海潮的涨落规律与月亮的周日视运动相符合——高潮恰巧比月亮经过当地子午圈晚了三刻钟。这就是说，如果今天月亮在天空某处时海潮涨起，以后月亮又到那一处时一定又会有高潮，天天如此，月月年年亦复如此。我们很容易理解，月亮用它加在海洋上的引力造成了这种潮汐，月亮在任何地方上面天空时就会吸引起当地的水，难懂的只是一天有两次潮，涨潮不仅在对着月亮的这边有，连地球那边背对着月亮的地方也有。关于这一问题，我们可以先温习一下我们刚才提过的关于引力的知识：引力的大小是和距离的平方成反比的。换句话说，离月亮越远的地方，受到的引力就越小。所以，地球上靠近月亮的那一面所受到的引力比较大，而背面受到的引力相对就要小一些。这个差异所产生的效果，就好像是有一种力量将地球拉扁了一样——而这扁的方向，正是正对和背对月亮的方向，也就是潮汐了。

对于这种情形完善的解释必然会引出一些运动规律来，在这里，我们却不打算这样做。但我还是要补充一句：假如月亮加在地球上的吸引永在同一方向，几天之后，两者就要“砰”的一声，撞在一起了。可是因为月亮绕地球转，这吸引的方向便永远改变，所以一个月内也只将地球拉离其平均位置约 5 000 千米。

也许又有人假定，既然月亮如此引起潮汐，那么我们就总是当月亮在子午圈上时有高潮，而月亮在地平线上时则有低潮了。事实并不如此，原因有二。首先，地球所拥有的无比巨大的水体所造成的强大惯性，将会使得潮汐现象相对月亮位置的变化有一个延迟现象。这潮汐运动在月亮离开子午圈后还要继续下去——这正像一块石子离开手后还向上冲去，而波浪也被水的动力推向高于水平面的岸上一样。另一原因是大陆的隔断，海潮遇上大陆就按大陆情形而改变方向，但由一点转向另一点又需要长时间。因此我们比较各地潮汐时就会发现其并不规则了。但是通常，这个延迟的时间等于我们刚才提到过的 45 分钟。

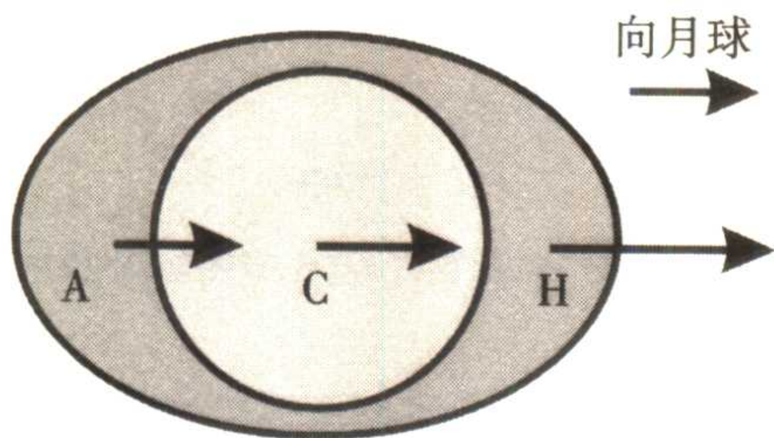


图 18　月亮如何每日引起二次潮汐

太阳也同月亮一样要引起潮汐，但作用比较小——有兴趣的读者可以根据我们曾经给出的数据和方法，按照引力的平方规律来算出太阳和月亮引潮能力的不同。值得一提的是，新月和满月时，这两者在一条线上合力吸引，因此有最高潮和最低潮。这些是所有住在海滨的人都熟悉的，他们叫做“大潮”（spring tides）。在上弦和下弦时，太阳的吸引抵消了部分月亮的吸引，因此潮既不涨得极高也不落得极低，这就叫做“小潮”了（neap tides）。

第五章 月食

月食是月亮进入了地球的阴影中。日食则是因为月亮在太阳与我们之间经过。我们以下就要说明这些现象中的最有趣的几方面以及其发生的规律。

为什么不是每次满月都有月食呢？地球的阴影当然永远在背对着太阳的一面，可是满月的月亮却有时在阴影上有时在阴影下经过，因此不会被蚀。这是因为月亮的轨道面对黄道平面约有5度的倾斜，地球却正在黄道平面上运行而其阴影中心也正投在那儿。再回到我们从前的假想，把黄道在天球上画出来，再进一步假定把月亮在天球上运行的视轨迹（白道）也画出来。我们那时就会发现月亮的轨道与太阳轨道在相对的两点相交，其交角只有5度。这两点叫做“交点”(nodes)。在一交点上月亮由下面移到了上面，或者说是从黄道南移到了黄道北。这一点叫做“升交点” (ascending node)。在另一点上月亮则是由北而南，这一点叫做“降交点” (descending node)。

因为太阳比地球大，地球的阴影（指本影）呈一个锥顶伸向远处的圆锥体。

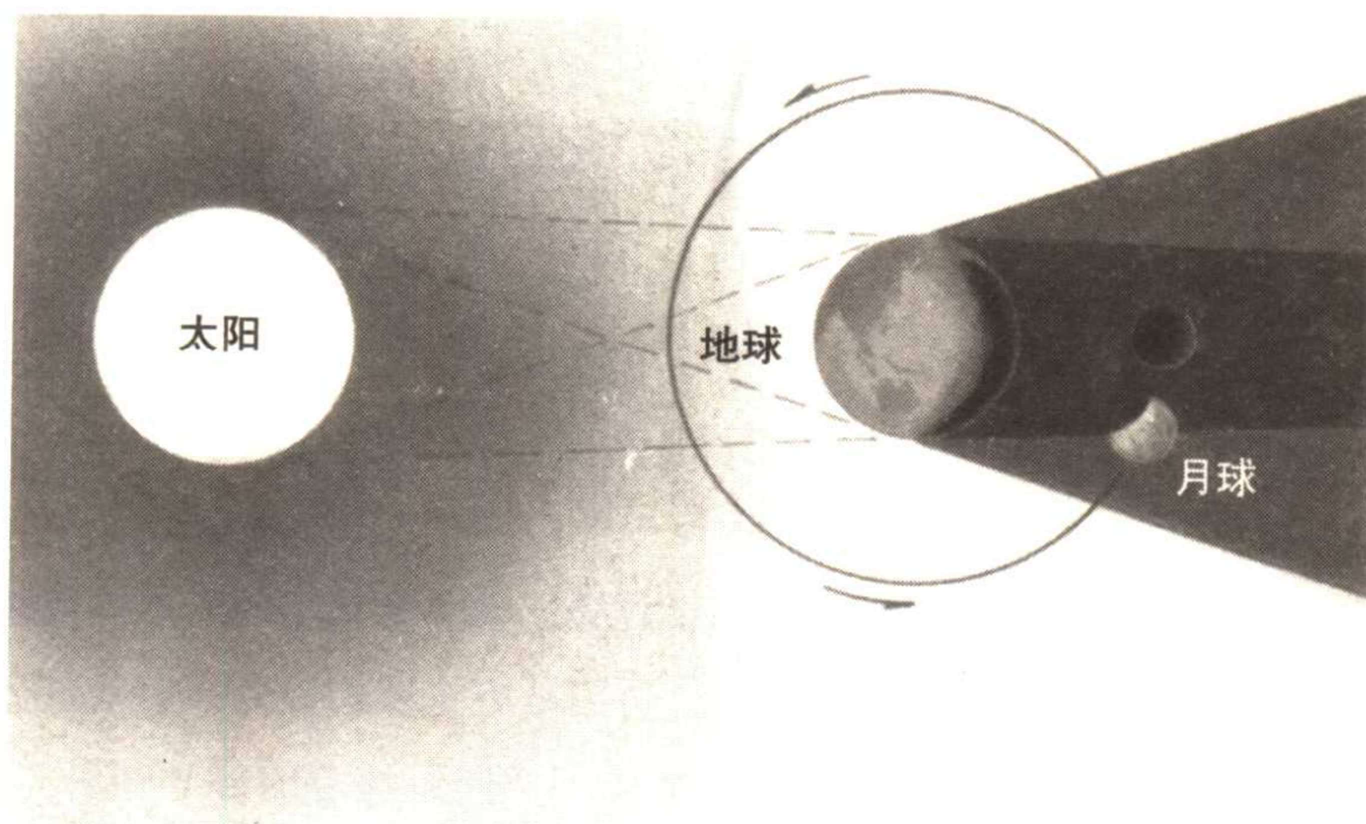


图19 月亮在地球暗影中

在地球身后地月距离处（即正对地球身后的月球轨道处），锥体阴影的截面直径约有地球的 3／4，也就是说约 9 600 千米。又因为阴影中心是在黄道平面上，在地球正身后的月球轨道处，所以阴影就只能在黄道面上下各遮掩 4 800 千米。而在两交点之间，月球轨道偏离黄道面最远的两点与黄道平面的距离约为地月距离的 1／12，就是说约有 32 000 千米。所以月亮只有在到了两交点附近，同时又正好处于地球身后时，才能进入地球的阴影区。

食季

连接太阳、地球的这根线当然要随着地球绕太阳而改变方向的。因此它在一年之内两次经过黄白交点。这就是说，如果我们假定两交点画在天上，升交点在一点上，降交点在另一点上，那时太阳在沿黄道而东行的运动在我们看来就要在一年之内经过这两交点的。太阳经过一交点时，地球的阴影就经过另一交点。日食或月食一年只能发生约两次（隔 6 个月一次）。这种“食季”（eclipse seasons）约长 1 个月，这就是说，从太阳离交点近得足以发生月食开始算到离得太远而不能发生月食为止，约有 1 个月。

假如黄白交点在黄道上的位置是固定的，月食就只能在固定的两个月份之内发生了。可是，因为太阳加在地球和月亮上的引力，交点位置不断地逆着地月运动方向而变动。每一交点约在 18 年又 7 个月内绕天球西向旋转一周。也在同样的周期中食季倒转一年。平均说来，每年较上一年提早约 19 天。

月食的景象

如果我们在一次月食开始时就守候着月亮，就会看到它的东边沿渐渐黯淡起来，并最终完全消失。月亮一面向前进，月面被吞进阴影，而黑暗的部分一面加大。可是如果我们非常细心地注视，就会看到被阴影浸着的部分并未完全消失，却发出一种极黯弱的光。如果全部月亮都进了阴影中，这就是全食；如只有一部

分入了阴影中，这就称为偏食。全食时，那始终照在月面上的微弱亮光就更清楚可见，因为这时它不可能被其他明亮的部分所干扰。这种黯红色的光是由地球大气折射光线而引起的（这种折射已在第三章讲到）。那些刚擦过地球边的或在离地球表面不远处经过的太阳光线，都被折射而投在阴影中，于是又投射在月亮面上。这光的红色也和落日的红色是同一原因——浓厚的大气吸收了波长较短的绿色和蓝色光线却让波长较长的红色光线透过。

月食每年要发生两三次，几乎总有一次是全食。当然，地球上只有那时正在月光下的那半球才可以看见。

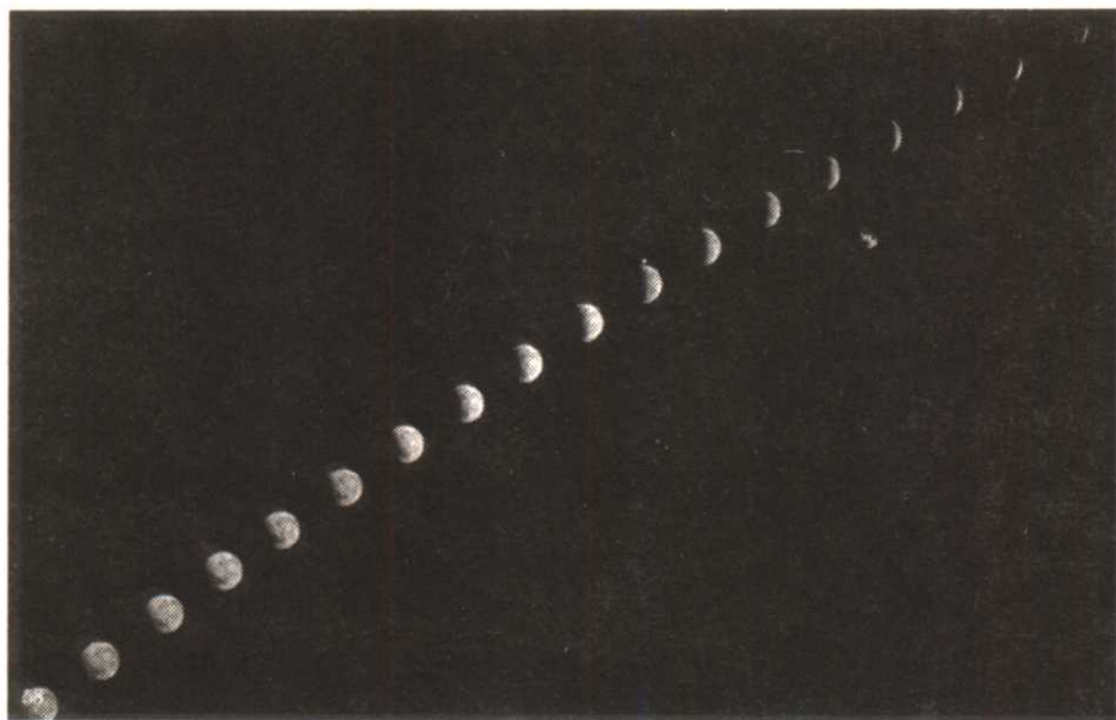


图 20　月食全过程

我们完全可以想象出，月食时在月亮上的观测者看见的地球所造成的日食。我们所描写的这种现象在他看来是非常清楚的。在月球上，地球的目视大小当然比我们所见的月亮要大。其直径会比太阳还大出三四倍。起初，因为耀眼的太阳光，这么大的物体接近太阳时是看不见的。那观测者所见到的只是太阳光被看不见的球状物体切去。当地球差不多全部遮住太阳时，他就可以看出全轮廓来：因为周围有一圈由地球大气折光而生的红光。最后当真正的太阳光完全消失时，就只能看见一个明亮的红光环圈住一个黑暗的球状物——地球。

月食的情形跟日食的情形大不相同（下章我们要讲日食）。月食可以同时被地上月光下的全半球看见。在月亮升起时就已经蚀去的情形下有一奇特的现象，我们会看到蚀去的月亮和黄昏的太阳同时出现在东、西地平线上。这看起来似乎和我们所说的太阳、地球、月亮成一直线的说法相矛盾，但这现象实际上是因为其中之一在地平线下，由于地球大气层折射的关系，竟使得我们同时可以看见了。

第六章　日食

假如月亮恰好在黄道平面上运行，它每次新月的时候，就都会在太阳面上经过。可是由于它轨道的偏斜（见前章），就只有在太阳正接近黄白交点之一时才可能发生这样的事情。那时我们如在地球上恰当的地方，就可看到日食。

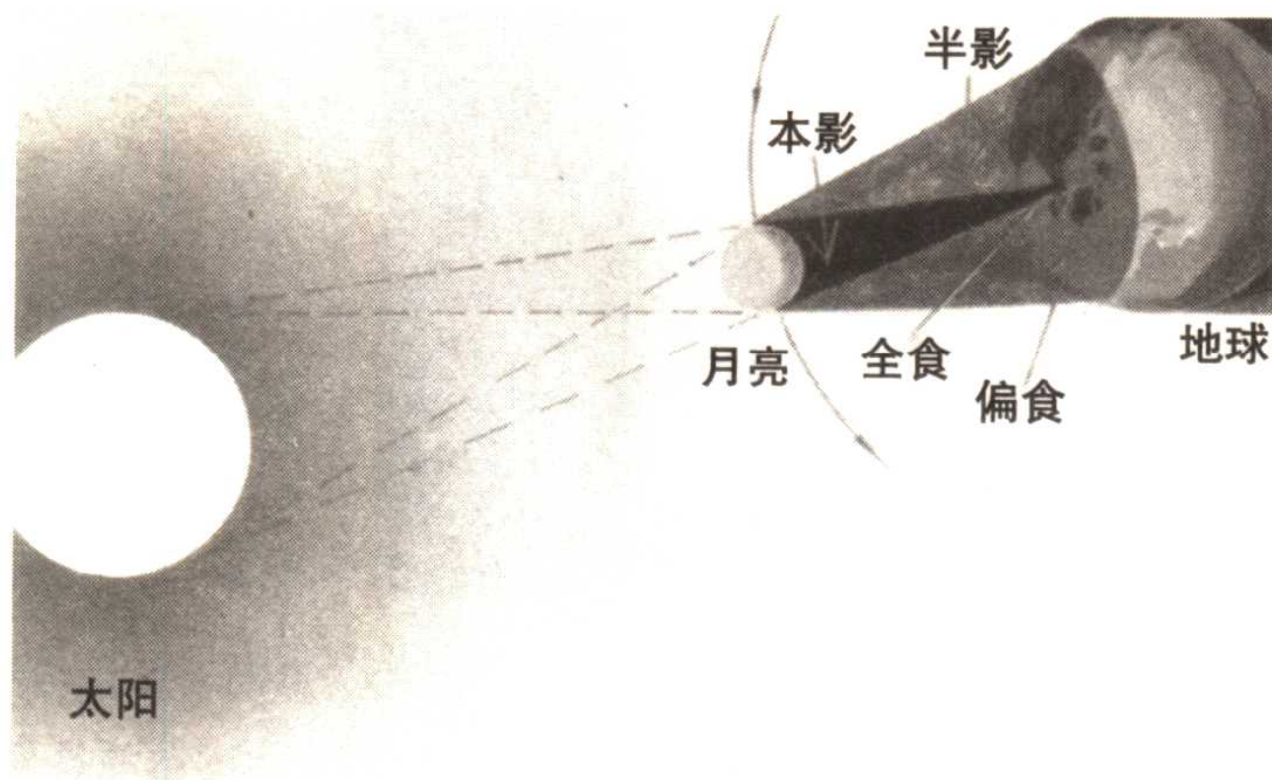


图 21　日食形成示意图

假定月亮从太阳面上经过，第一个问题就是它能不能遮住太阳面的全部。这不仅仅是这两个天体的真实大小的问题，更重要的是其视觉大小。我们知道太阳直径比月亮大约 400 倍，但它也比月亮刚刚好远了约 400 倍。这样造成了一件有趣的结果——在我们眼中看来，这两个实际上完全不等的天体，却成了一对双生兄弟——它俩差不多同样大了。由于轨道并非完全是圆的，所以有时月亮仿佛大些，有时又仿佛小些。在前一情形下，月亮可以完全遮住太阳；在后一情形下，就办不到了。

月食与日食之间的最大差异是——月食在任何看得见月亮的地方情形都一样，

而日食的却要依赖观测者的位置。最有趣的日食是月亮中心恰好遮住太阳中心——这叫做“中心食”（central eclipse）。要看这种食，观测者必须在连贯日月中心直线所达的地方。那时若月亮的视界大小比太阳的大，就会全部掩去太阳。这种食就是“全食”（total eclipse）。

若太阳那时看来大些，在中心食时就有一圈太阳光环绕住中间的月亮。因此这种食叫做“环食”（annular eclipse）。

连接日月两中心的直线从地球面上掠过，我们就可以在地图上画出它的路径来。这种表明日食的区域和路线的地图预先在航海历书中印出来。在中心线扫过的路径南北附近地区也可见到全食或环食，但决不可能在160千米以外。在这界限外的观测者只能见到偏食——月亮只掩去了太阳一部分。而在更远的地区，则根本看不到日食了。

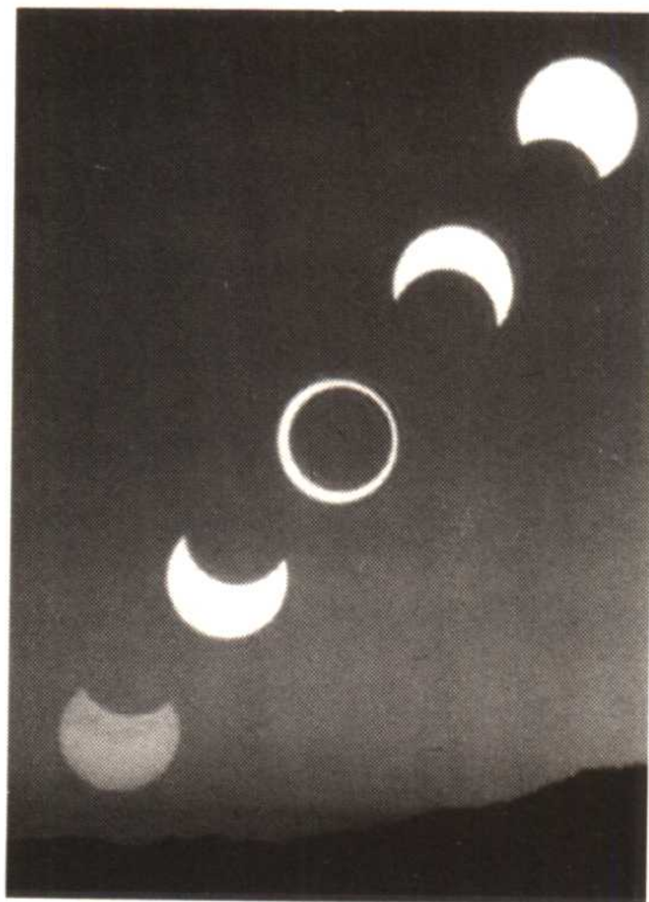


图22 日环食全过程

美丽的日全食

全食是大自然赐给人类的一件动人美景。要充分鉴赏其魅力，最好是站在高地上，能看到周围很远的地方，尤其是在月亮来的那一边，看得愈远愈好。第一个表示非常事件发生的信号并不在地上或空气中，却在太阳圆面上。在历书中预报的一定时刻，太阳西部的边缘上就有了一个小小的缺口。它一分钟一分钟地增长，真仿佛渐渐蚀去了太阳。有些民族看到这伟大光明的太阳会这样一点一点地缩小而幻想着有龙来吞吃它，自然也不足奇怪了。

一段时间中，也许在一小时以内，所见到的只有月亮黑影在不息地扩展，不停地侵蚀太阳面上的地盘。如果这时观测者正站在一棵大树旁边，又有树叶让太阳光线从叶间小隙透射到地上，还可见到一种有趣的情形——地上的太阳影像这时都会有缺口显出偏食的太阳。不久，太阳就变成新月一样了，但这新月不但不长大却反缩小。不过在这时候，眼睛还习惯于那消逝去的光辉，因此直到这新月

变得非常狭小以前还可看出仿佛可见的暗影。如果观测者有一架带有观测太阳专用滤光镜的望远镜，他可以有一个极好的机会从另一个角度来看月亮上的山——残留的太阳还保持其照常的柔和而一致的光辉。可被月面蚀去的那一边轮廓却是参差不齐的——这就是月面上山的轮廓。

当这一钩“新月”将要消逝的时候，在不息前进的月亮上，陡峭的山峰便达到了太阳边界，使得太阳只剩下一串碎片或光点从月面的凹处透出来——这种非常美丽的景象被称为“贝丽珠”——这时的太阳看起来很像一个镶上了几颗耀眼钻石的戒指。这种美丽的景象也只有一两秒钟的时间，然后就完全消逝。

现在我们可以看到这场奇观了——本来的白昼，因为日光的消逝而状若黎明，在离太阳稍远的天空中竟出现了漫天的繁星。原本太阳应该正在中天，可天上却只有极黑的月球高悬在天际。其周围有一圈灿烂的光辉，这就是我们在论太阳的一章中已经叙及的所谓“日冕”。虽然用肉眼看来也非常明亮，但若用倍率低的望远镜看来更有趣味。甚至一副看戏用的玩具望远镜都能凑合着用。用大望远镜只能见到日冕的一部分，因此这景象的最美的一部分就没有了。一副廉价的放大10倍或12倍的小望远镜，在这一方面说来，是比大望远镜还要合用的。这样的工具不但可助我们看日冕，还可使我们见到日珥——奇形怪状的红云在各处盘旋起落，竟仿佛是从黑月亮上喷射出来的。

正当我们沉醉于这迷人景象的时候，太阳另一边上突然现出了一些美丽的光点——月面经过了太阳，从另一面透出了美丽的贝丽珠。之后，这些光点重又扩大，渐渐连成了一个新月形——月亮正一点一点地退还被其占领的领地。光明越来越灿烂，周围的繁星正渐渐隐去。当最后的一个小缺口也复原的时候，日食完全结束，世界重返光明。

古代日食

有一点值得注意，古人虽对日食这件事很为熟悉，智者还很了解其中的原因，甚至能推测出再来的周期，可是在古代历史记录中却很少关于这种现象的真实记载。中国古史中有时常记载某时某地发现日食，但并未详细记其特点。亚述学家

(Assyriologists) 从古文件中考出一段日食记载，说是公元前 763 年 6 月 15 日日食见于尼尼微 (Nineveh)。我们的天文年表也证明那时确有日全食，阴影经过尼尼微之北约 160 千米。

也许最有名且最引起争论的一次古代日食就是所谓泰利斯日食 (eclipse of Thales)。其主要历史根据是希罗多德 (Herodotus，古希腊史家) 的记载。据说当吕底亚人 (Lydians) 与米堤亚人 (Medes) 正在打仗的时候，白昼忽变为黑夜。两军因此息战而促成和平。又说泰利斯 (Thales，古希腊哲人) 曾向希腊人预言过白昼将变为黑夜，甚至连哪一年都指出了。我们的天文年表中也证明公元前 585 年确有一次日全食，时间也离那次战争最近，但我们现在知道那阴影的路径只有在日落后才能到他们的战场上。关于这件事情的真相直到现在还有疑问。

食的预测

食的出现有一定的规律，这在古代已经知道。其根据是日月都在约 6585 日 8 小时，或者说 18 年又 11 日的周期之后再回到交点及近地点的位置上。这时期叫"沙罗周期" (Saros)。各种食都在其沙罗周期之后再现。譬如说，1900 年 5 月的食可以看作 1846 年、1864 年及 1882 年食的重演。可是一次食再现时，看得见的地上区域却改变了，这是因为周期中多出的 8 小时。在这 8 小时中地球又绕轴自转了三分之一，太阳下的区域就因此而与前不同了。每次食的所在区域都较前移动环球三分之一的路程，或说向西移经度 120 度。只有在三次重演以后才又回到差不多同地来。但同时月亮的运行线又有了变动，因此阴影会比以前南移或北移。

全世界大约每三年可见两次日全食，但对于某一特定地区来说，平均 300 年才可以见到一次日全食。在 20 世纪的百年内的累次重演中，全食时段一次次加长。在 1937 年、1955 年、1973 年全食时间均超过 7 分钟。日全食期间最长限度是 7 分半钟。未来几年将发生的日全食日期为：2008 年 8 月 1 日，全食带在加拿大、北冰洋、苏联、中国 (从新疆最北部到河南)；2009 年 7 月 22 日，全食带在印度、中国 (从西藏南部到长江口)、太平洋。

日冕

日全食时最美丽的部分是日冕，它是由极端稀薄的气体组成的，这只有在日食时才能见到。当真正的全食出现时，太阳周围的这种珠光就突然出现，而全食时段一过就同样突然消隐。从照片中看到这种日冕有错综复杂的结构，其形状却显然按太阳黑子数目的增减而变化。

太阳黑子高峰期时，日冕在太阳各方向的范围都差不多大。这时可把它比作一朵天竺牡丹，向盘外各方向展开花瓣。其他特点就是黯弱的流光以及红色日珥之上的精致的拱门。

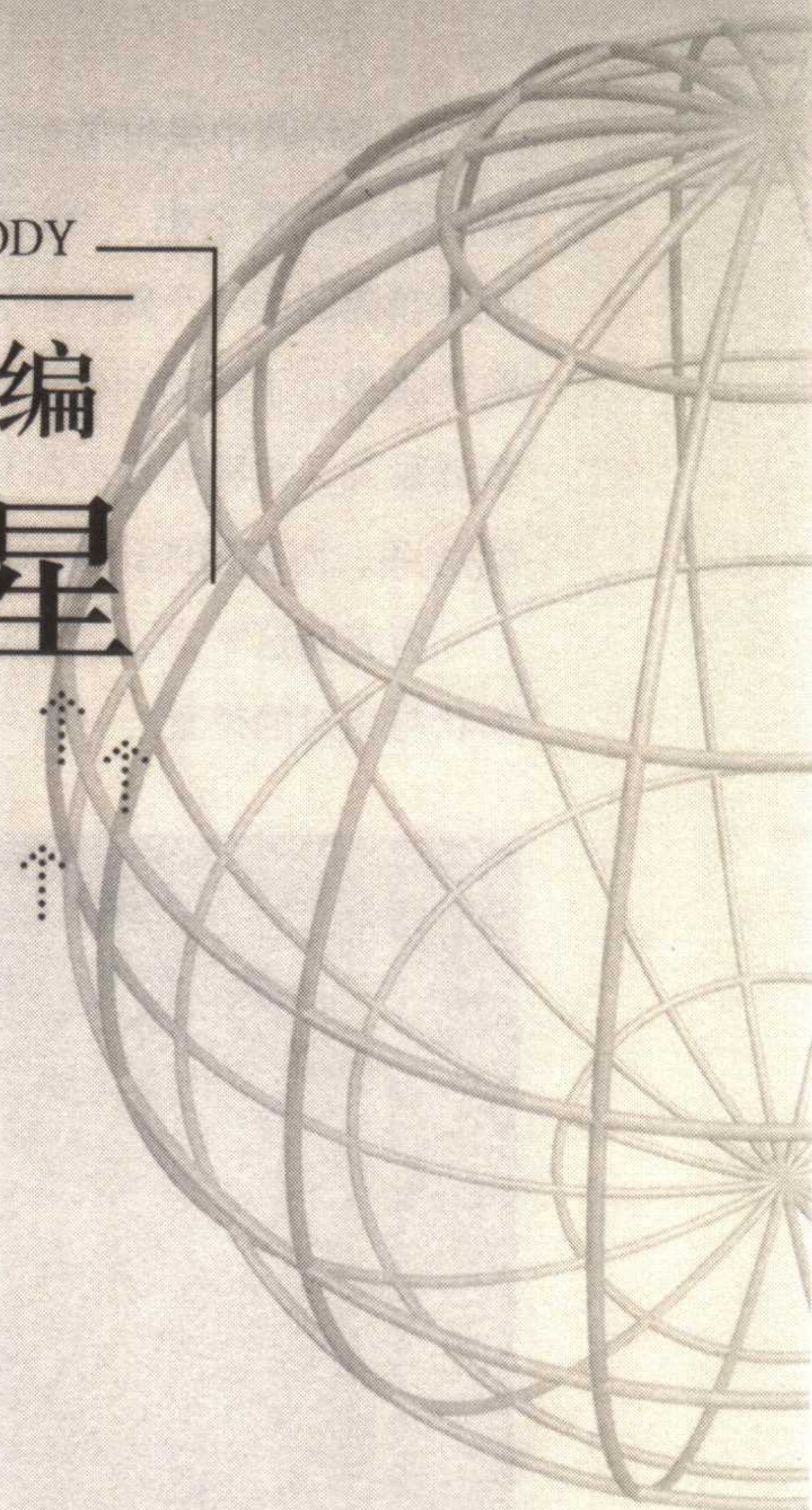
接近太阳黑子最少期时，日冕是从两极地方出现的短穗，向赤道弯曲。这使我们想起磁石附近铁屑所显现的花样。日冕状貌还有一点值得注意——长的流光由赤道部分展开，状如鸟之双翼。

当作美景来看，日冕一定要列在天界奇观的最优等中。但它对天文学的贡献直到现在却还令人失望。不错，日冕在我们看来是非常稀罕的，而且就在那难得的机会中也只是昙花一现。可是过去一百年中所得的全食的精美照片已足供我们长期研究了。这种研究直到现在还只是很吝啬地报答了我们的日食观测团所用去的时间、精力与金钱（常要到很远的地方去）。日冕是否会透露给我们什么重要的信息，这还未为可知呢。

ASTRONOMY FOR EVERYBODY

第四编

行星及其卫星



第一章　行星的轨道及其各种情形

行星绕其中央恒星运行的轨道严格来说是椭圆形，或说是略扁的圆圈。但这扁的程度非常之小，若不测量，单凭眼睛是看不出来的。太阳并不在椭圆中心，而是在椭圆的一个焦点上，有时焦点离中心远得可以被眼睛立刻看出来的。由这距离就量出了椭圆的偏心率，这却比扁的程度要大得多。例如，水星的轨道偏心率就很大，其扁的程度却只有 0.02。如果我们用 50 来代表其轨道的长轴，其短轴就是 49，而就相同比例而言，太阳离这轨道中心却已是 10 了。

为表明这一点，我们画一幅太阳系天体的轨道图，并大致准确地表示轨道的形状与相对的位置。一瞥中就可看出这些轨道在有些点上比别处更接近太阳。

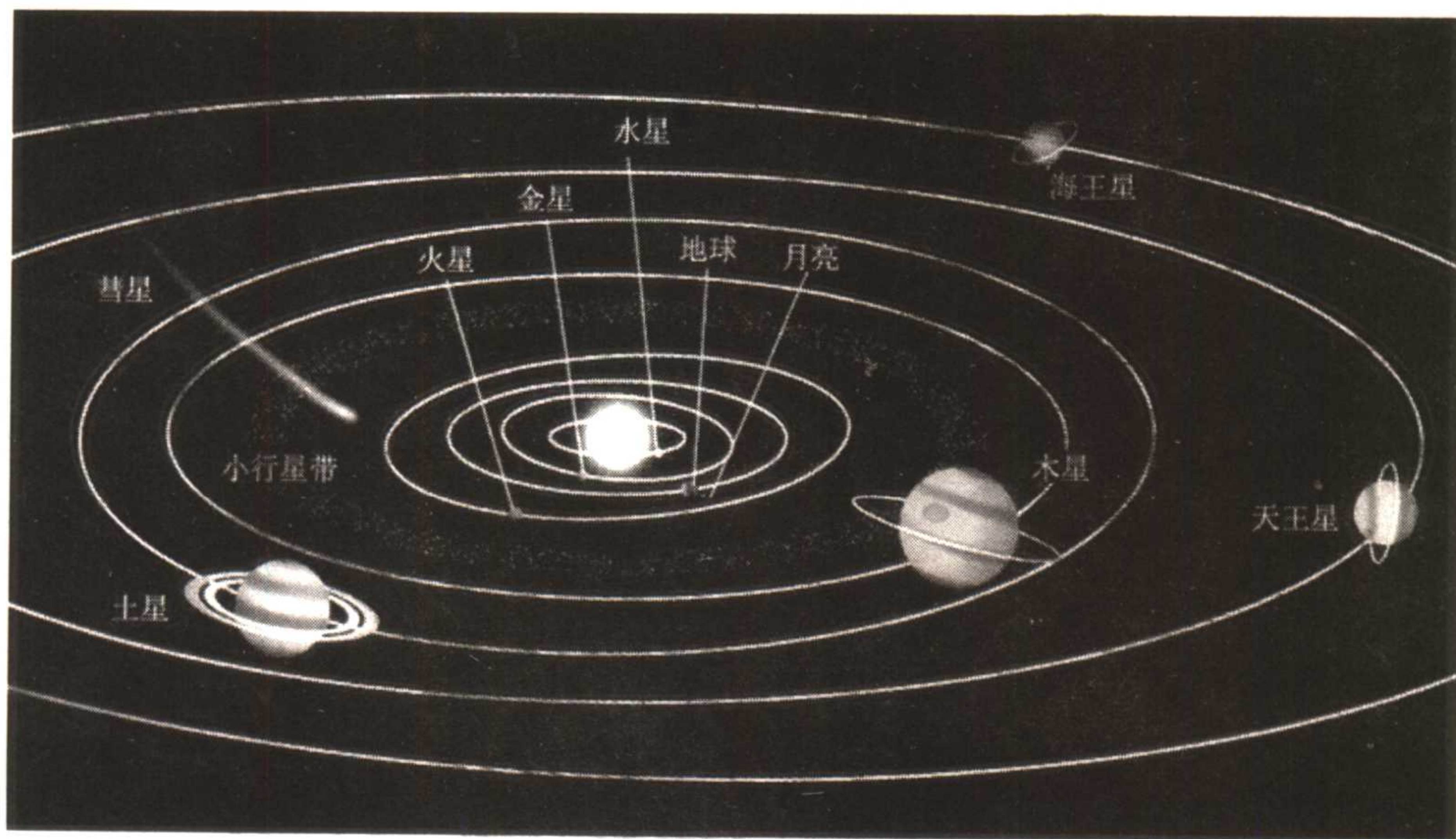


图 23 太阳系天体

虽然我很不愿意用一些很专门的术语来打扰读者的兴致，但是为了更清楚地解释行星的真实或视在运动，我们可敬的读者不妨稍稍下一些工夫，来学习一些天文学中的概念：

"内行星"（inferior planets），是指那些轨道在地球轨道之内的行星。这一类中只有水星和金星。

"外行星"（superior planets），是指那些轨道在地球轨道之外的行星。其中有火星、小行星以及外层的4大行星。

当一颗行星在我们看来从太阳经过，仿佛与太阳相并而在同一方向时，这叫做与太阳相合。

"下合"（inferior conjunction），是指行星在太阳与我们之间的合。

"上合"（superior conjunction），是指太阳在行星与我们之间的合。

稍微一想就可明白外行星决不会有下合的事，但内行星却既可下合又能上合。

当一颗行星在与太阳相反的方向，或者说，我们在行星与太阳之间的时候，叫做"冲"（opposition）。那时行星在日没时升日出时落。当然一颗内行星是不会有冲的。

轨道的"近日点"（perihelion）是离太阳最近的一点；"远日点"（aphelion）是离太阳最远的一点。

当内行星（水星、金星）绕太阳旋转时，在我们看来好像由太阳这一边到那一边。它们对太阳的眼见距离无论何时都叫它们的"距角"（elongation）。

水星的最大距角通常有25度，有时多有时少，因为这颗行星的轨道偏心率大。金星的最大距角几乎是45度。

当这两行星之一在太阳东面时，我们在日落时看见它在西天；在太阳西面时，我们又在天明时见它在东天。因为这两颗星绝不能远离太阳，跑出我们上面提到的界限，所以在黄昏的东天、或是黎明的西天出现的行星绝不可能是这两颗行星。

没有两行星的轨道恰在同一平面上。这就是说，如我们沿一条轨道水平望去，所有其他轨道都略略有些倾斜。天文学家为方便起见，以地球轨道平面（或黄道平面）作为水平标准。既然每一轨道都以太阳为中心点，便各有两点在地球轨道水平面上——更准确些说，这就是其轨道与黄道平面相交的二点。这叫做"交点"（nodes）。

轨道于黄道平面的夹角被称为“轨道交角”（inclination）。水星轨道交角最大，约有7度。金星轨道交角约3度又24分。外行星的都较小，约自天王星的46分到土星的2度30分。

行星的距离

把海王星除外，行星之间的距离很密切地吻合一条所谓“提丢斯-波德定律”(Bode′s law)。定律的名称就是首先指出这一点的天文学家的名字。定律的内容是：取0、3、6、12、24……等数，（从第2个数往后）后一个数是前一个数的2倍，然后再在各数上加4，于是我们就得到了行星的大致不差的距离了（除了海王星）。

水星	0 + 4 = 4	实际距离	4
金星	3 + 4 = 7	实际距离	7
地球	6 + 4 = 10	实际距离	10
火星	12 + 4= 16	实际距离	15
小行星	24 + 4 = 28	实际距离	20-40
木星	48 + 4 = 52	实际距离	52
土星	96 + 4 = 100	实际距离	95
天王星	192 + 4 = 196	实际距离	192
海王星	384 + 4= 388	实际距离	301

在实际距离一项上，我们看到天文学家并不用千米这样的常用单位来表示天体间的距离，这有两种理由。第一，千米太短了，用起它们来描述行星之间的距离，就好像用厘米来丈量两城间的距离一样。其次，天上的距离并不能用我们的必须准确的尺度来固定。如果我们用地球对太阳的距离作单位，就可以很准确地确定行星间的距离了。因此要得到天文学中的行星距太阳距离，只要把上表中最后一数除以10，或者说把小数点往前挪一位。

在这表中，我们没有用不必要的小数来分散读者的注意力。实际上水星距离

是0.387，其他亦如此；我们只把它算做0.4又乘以10，以便与提丢斯-波德定则相比较。

开普勒定律

行星在轨道中的运动符合开普勒（Kepler）所发现的一种规律，因此该定律就叫“开普勒定律”（Kepler's laws）。这定律的第一条我们已经说过，就是行星轨道是椭圆形的，太阳在其一焦点上。

第二定律是行星离太阳愈近，运行愈快。用更数学化些的语言，较确切地说：凡在相等时间内行星与太阳的连线所扫过的面积相等——我们很容易能想明白，当行星与太阳距离较近的时候，为了在相同的时间内能让连线扫过同样的面积，行星就得运动得更快些。

第三定律说的是，行星距太阳平均距离的立方与其公转周期的平方成正比。我们简单地来说明一下这条定律，假定有一行星距太阳比另一行星远4倍，于是它绕太阳一圈比另一颗行星要慢8倍。这数目的求法是，先求出4的立方64，再求其平方根，就得8。

既然天文学家用地日平均距离来作为太阳系尺度中的距离单位，那么内行星的平均距离必定是小数（如上述），而外行星就要由1.5的火星到30的海王星了。如果我们求出这些距离的立方数再求出其平方根，我们就可得到以年为单位的它们的公转周期了——有兴趣的读者可以很方便地用上面给出的资料来算出每颗行星的公转周期。

我们还可看出越外层的行星，绕行轨道的周期就越长，不仅是因为路程更远还因为它们走得更慢。再照前面例子来说，假定一颗外层行星距太阳远了4倍，它运动速率也就减了一半，因此绕上一圈才加上8倍。地球在轨道中运动速率是每秒钟29.8千米，海王星的速率每秒钟却只有5.6千米，而它的路程要远上足足30倍。这就是它要160多年才能绕太阳一周的原因了。

值得一提的是，开普勒三定律是在第谷留下的资料的基础上，花费了开普勒无数的精力，单纯由观测和猜测得来的，并最终发表在1619年出版的《宇宙

和谐论》中。而这个结论到了一个世纪后，却被牛顿从另外一个途径独立地得到了——任何一个高中生都可以运用引力定律的知识，纯粹从数学上得到这三条结论。

第二章　水星

我们现在要依照距太阳远近的次序，开始叙述我们所知的大行星的一切了。第一个轮到的就是水星，这不仅是一颗离太阳最近的行星，而且是八大行星中最小的一颗——如果不是因为它地位的缘故，我们几乎不能将它列在大行星中。它的直径只比月亮大出50%，但其体积是与其直径的立方成比例的，因此它比月亮的体积大了3倍多。

水星要算是大行星中轨道偏心率最大的一颗——虽然有些小行星在这方面要超过它（下面就要叙及）。因此它离太阳的远近也有很大的变化，在近日点上这距离不到4 700万千米；在远日点上其距离竟大于6 900万千米。它绕日的公转周期不到3个月——更确切些说，88日。因此它在一年之中绕太阳四次有余。

在地球绕太阳一次的时间中水星绕了四次有余，水星与太阳的“合”也依照一个虽不一致，却很规则的周期。为了表明其视运动的规律，且假设图24中的内圆代表水星轨道而外圆代表地球轨道。当地球在E点而水星在M点时，水星正与太阳在下合点上。3个月之后它又回到M点，但这时却并无下合，因为同时地球也在轨道中运动了。当地球达到F点而水星到了N点时，又有了下合。这种由一个下合到另一下合的周期运动叫做行星的“会合周”（synodic revolution）。水星的会合周比实际公转周期多出三分之一不到一点；这就是说，MN弧略小于圆周的三分之一。

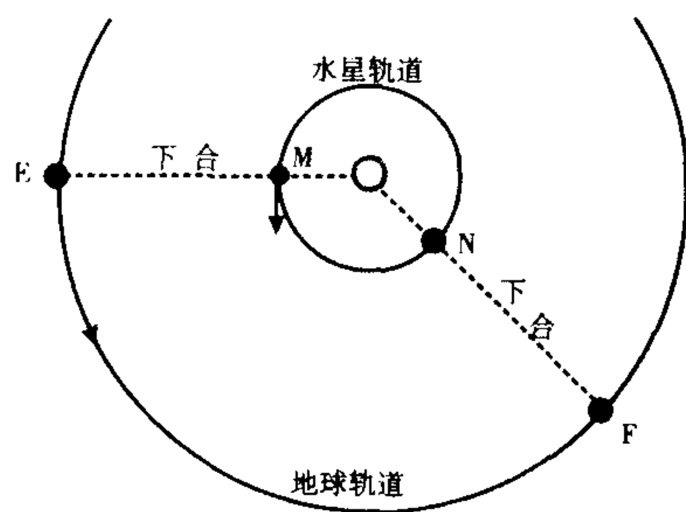


图24　水星合日

现在再假定，在图25中地球在E点，水星不在M点，却几乎到了最高处的A点上。这时从地球的角度看来，它在离太阳视在距离最远的一点上——用术语来说，在“大距”上。如果水星在太阳之东，就会在太阳之后沉没，我们可以在日落后半小时至一小时内在西天的薄霭中看到它明亮的身影。在相反方向的C点附近，那就到了太阳之西。于是在日出前升起，这时候，水星就会闪耀在东天的晨曦中。所以，当作昏星来看时，最好在东大距时（春季）；当作晨星来看，水星在西大距时（秋季）就更利于观测。

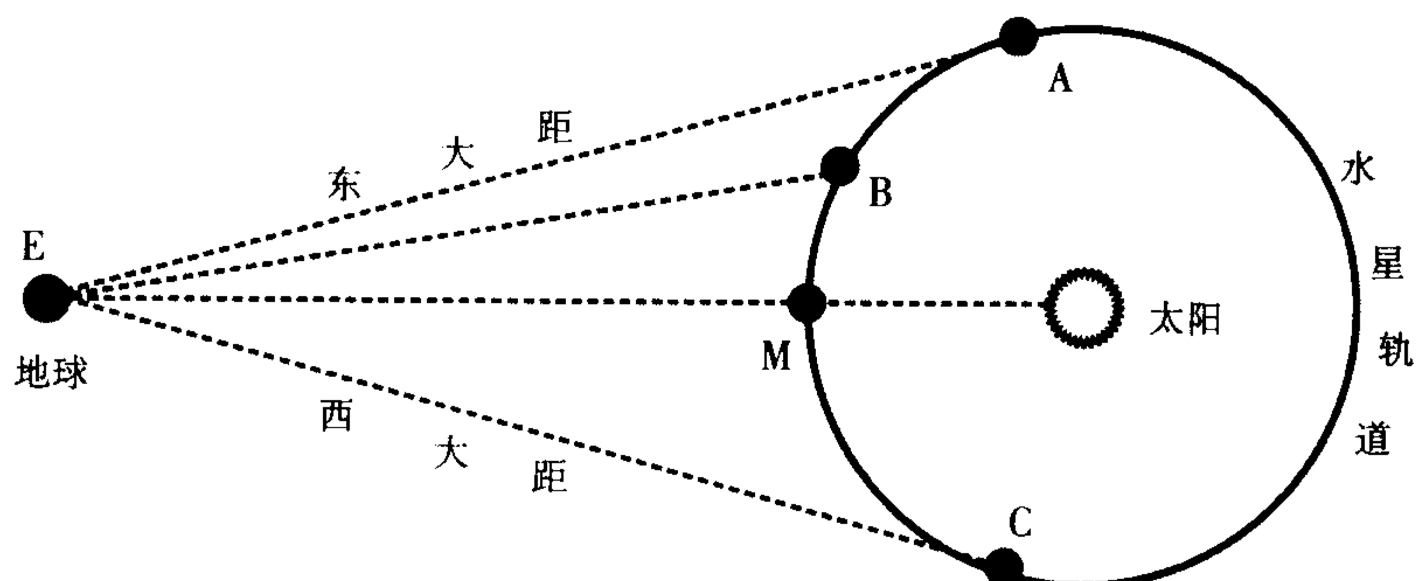


图25 水星的距角

水星的外观

用望远镜观测水星的最佳时刻，是春季和暖的傍晚，或者在秋天清凉的黎明。假定它在太阳之东，一般在下午任何时候都可用望远镜看见它，但这时空气通常都被太阳强烈的光线搅乱了，因此很难作出令人满意的观测。下午晚些时候空气较稳定，就比较利于观测了。可是到了日落之后，它却又是在不断增厚的大气之中，也越来越模糊。正因为这种种不利因素，水星成了很难如意观测的行星，而观测者所描述的水星表面也就千差万别了。

在历史上很长的一个时期内，几乎所有的观测者都认为水星的自转周期是无法确定的。到了1889年，在意大利北部美丽的天空中，斯基亚帕瑞利（Schiaparelli）用精巧的望远镜对水星做了细致的观测，结果说该行星的状貌天天毫无变化。他因此得到结论，以为水星永远以同一面对着太阳，正如月亮之于地球一样。在亚利桑那（Arizona）的弗拉格斯塔夫亚天文台（Flagstaff Observatory），罗尼尔（Lowell）的观测也得到了同样的结论。但到了1965年，当时最先进的多普勒雷达

表明，这种理论实际上是错误的。现在我们认为水星在公转二周的同时自转三周。

因为水星对太阳的位置常有变换，它就也像月亮一样有圆缺的位相变化。我们能看到被太阳照耀的那半球，可背向太阳的黑暗面却是我们看不到的。当水星上合时（太阳在地球与水星之间），明半球完全对着我们，这颗行星的表面就犹如满月般的圆盘。随后它经由东大距移向下合，向着我们的暗半球部分就越来越多，明半球部分则越来越少。但由于它离我们越来越近，所以我们反而可以更好地观测仍然明亮的部分。到了下合的时候，暗半球完全对着我们，如同新月一样，在它应该出现的位置上，只留下了一个无法观测的黑暗阴影。在通过黑暗的下合期之后，水星经由西大距返回上合的位置，重新成了一轮“满月”。

很久以来，人们都认为水星上没有大气。因为我们根本就观测不到其对日光的折射效果。可现在的研究表明，水星拥有稀薄得几乎不存在的大气层，由太阳风带来的原子构成。水星温度被太阳烤得如此之高，使得这些原子迅速地逃逸到太空中。于是，与地球和金星稳定的大气相比，水星的大气频繁地被补充更换。

水星凌日

仔细想象一下水星的运行情况，我们就会明白，假如内行星和地球在同一平面上绕太阳而行，那么每次下合时我们都能看到其从太阳表面经过。但事情并不是如此简单，因为两颗行星不是在同一平面上旋转的。在所有大行星中，水星轨道对地球轨道的偏斜最大。因此我们常常看到它在南边或北边与太阳擦肩而过。如果它在下合时正好接近了地球与水星轨道的一交点，我们就可以从望远镜中看到一粒黑点经过太阳表面。这种现象叫做“水星凌日”（Transit of Mercury），其相隔时间从 3 年到 13 年不等。由于可以极准确地测定其进入和离开太阳圆盘的时刻，并可以通过这时刻推导出这行星的运动规律，所以天文学家对这种现象都有很大兴趣。

加桑迪（Gassendi）在 1631 年 11 月 7 日第一次观测到了水星凌日。可是由于他的工具非常简陋，观测结果已毫无科学价值了。较好的观测是哈雷（Halley）1677 年在圣海伦岛（St.Helena）上得到的。从此以后，这种凌日的观测就很有规

律地继续了下来。

1937 年 5 月 11 日，水星擦过太阳南部边缘。在欧洲南部可见，但在美洲却在日出之前。

1940 年 11 月 10 日，美国西部可见。

1953 年 11 月 14 日，美国全境可见。

1677 年以来，通过水星凌日的观测，人们发现了一件现在被称为水星轨道进动的有趣事实。令人不可思议的是，这颗行星的轨道居然是慢慢改变的！其主要原因一度被认为是其他已知行星的影响。但精密的理论计算表明，这并不是主要原因，水星近日点的变动比理论计算值更前进了 43 角秒之多。这一点误差是 1845 年被勒威耶（Leverrier）发现的——他以在海王星发现之前，以数学方法计算其位置而闻名。勒威耶试图重现辉煌，预测说在太阳与水星之间还有一个行星，并取名为火神星。他计算出火神星会很罕见地越过太阳盘面（只有这时才有希望由它投在日面上的阴影来探测它）。但在 1877 年，刚巧在他预言的火神星越过日面之前，他去世了，或许这是一种幸运，他没有得知自己的失败。那一天所有的望远镜都对着太阳，但是火神星固执地拒不出现。另外，大约在 1860 年，法国一名乡间医生勒斯加波（Lescarbault）用一架小望远镜观测了太阳表面，他宣称观测到期待中的那颗行星从太阳盘面上经过。而另一位较有经验的天文学家在同一天却只看到一颗平常的黑子。大概就是这黑子哄骗了那位医生天文学家。这风波过后的许多年内，有不少天文学家在好几个地点天天观测太阳，为太阳摄影，却一点也没有发现这一类东西的存在。

可是，我们仍然可以认为有些小行星在这区域中运行，只是它们太渺小了，因此经过太阳面时竟逃出了我们的视察。如果真是这样，它们的光亮一定完全被天光遮去，所以平常看不见。可是我们还有机会，就是在日全食的时候，天上一点别的光也没有，应该能看出来的。于是当日全食时就常有观测者来寻找它们，并且用上极有力的摄影仪。终结的答案毕竟在 1901 年日全食时得到了——那时在太阳附近拍摄到约 50 颗星，其中有的只是 8 等星，但都是我们所已知的。因此大致可以肯定在水星轨道圈内决没有比 8 等星光更亮的行星了。像这样的小行星非有几十万颗是不能造成水星偏离轨道的。这么多的小行星定会把那一块天照明得比任何处天空都亮的。这结果可使我们得出结论来反对那种认为水星近日点移动

是由于更内行星的见解了。要假定这颗内行星存在，除上述困难外还有一点，如果有这颗行星，它一定要使水星或金星（或两者兼有）的交点变动的。

这个神秘的迷团，一直困扰着20世纪初的天文学家，直到1916年，爱因斯坦提出了他的广义相对论。在牛顿的经典力学中，引力是两个具有质量的物体之间的互相吸引作用。但是爱因斯坦却凭直觉意识到，引力的作用比我们能想象的更有意思。

在说明水星轨道进动之前，先让我们先来做一个思想实验，来看一看爱因斯坦的“等价性原理”。

我们假定我们现在请了一个勇敢无畏的助手，然后，我们把他关到了一个与外界隔绝的小屋子里——为了消除他的寂寞，我们给了他一个小球。他发现，当他松开手让球自由下落的时候，小球相对地面运动的加速度是9.8 米/秒^2——根据这一点，他判断他是在地球上，因为这个加速度是地球的引力所引起的正常加速度。

然后，我们在他熟睡后把他送进了一架飞起来没有任何震动的飞船，船舱的布置则和那间小屋子完全一样。在他醒来之前，将飞船发射出去，并且让飞船以9.8 米/秒^{2}的加速度往外太空飞去。于是我们可以想象一下那个可怜虫醒来时的情况了——他同样的拿着小球，然后松开，发现小球相对地板还是9.8 米/秒^{2}的加速度。这时候，他立刻就得到了一个错误的结论，他以为他仍然在地球上呆着，而不是在遥远的外太空。

我们发现，实际上，从某个角度说，引力和加速度是可以互相替代的。如果我们选择一个合理的参照系，那引力就可以转化成一种局部的加速度——这与被吸引的物质是什么无关，而与空间本身有关——空间的不同部分，可能由于一个大质量的物体的存在，而拥有不同的等效加速度——于是，空间不再是牛顿经典体系中那种平坦的样子，而是被弯曲了。

在太阳附近，空间弯曲的程度比较明显。于是，水星在这个被太阳巨大引力而扭曲的空间中运行，就不再是沿严格的椭圆轨道，从而造成了水星轨道近日点的进动——按照广义相对论提出的公式，精密计算的结果恰好比按牛顿经典力学计算的结果多了43秒，与实际观测到的情形相符合。这也证明了广义相对论的正确性。

第三章　金星

在天上所有的星状物体中，金星是最明亮的。只有太阳和月亮超过了它的光彩。在一个晴朗无月的晚间，它的光辉甚至可以照出影子来。如果观测者知道它的位置，又有一双好眼睛的话，在白昼当它接近子午圈时都能用肉眼看见——只要太阳不在它的附近。当它在太阳东面时，我们可以在西天望见它，日落之前它呈黯淡的光辉，随着日光减弱，它的光就增强起来。它在太阳西面时，就在太阳之前升起，出现在东天。在这两种不同情形下，它被称为昏星和晨星。当它是昏星时古人称它为 Hesperus（长庚），晨星时则称为 Phosphorus（启明）。据说古人并不知道这两者原是一体。

即使用低倍率的望远镜观测金星也可以发现，它跟月亮一样有圆缺的位相变化。伽利略第一次将望远镜对准这颗行星时就看出了这一点，这使他更坚信了哥白尼（Copernicus）日心系统的正确性。他按当时的风俗，把这发现发表成为一个谜语："爱的母亲正与 Cynthia 争赛面相呢。"

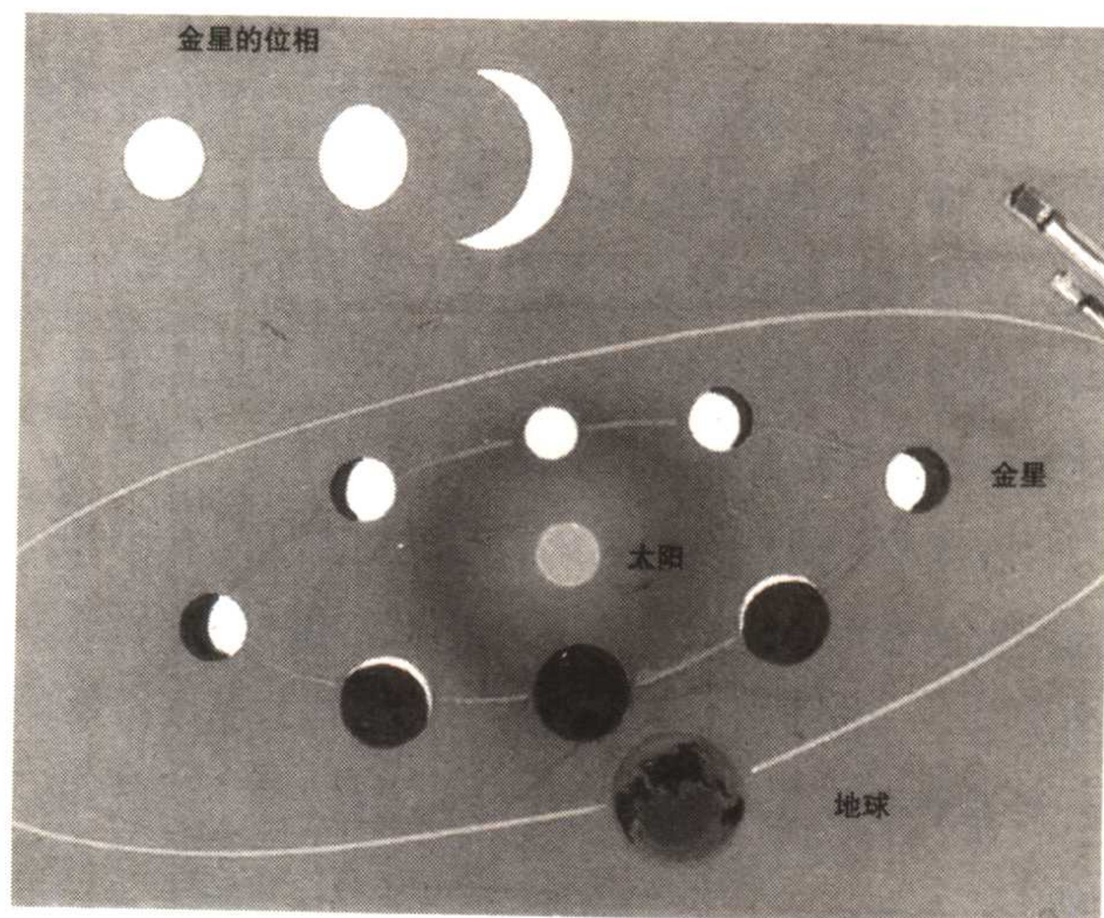


图 26　金星在轨道中各点的位相

我们说过水星的会合运动，金星的会合与其非常类似，因此不必敷述。图 26 表示这颗行星在会合轨道中各部分所现的视在大小。当它由上合到下

合时，圆盘逐渐增大，但我们不能见到其全部，它的照明了的表面也同时逐渐减小，渐成半月形，继成新月形，最后直到新月一般的下合期。在下合时，全黑暗面都对着我们，因此无法观测。金星最亮的时候是在它处于下合与大距的正中时。那时如在太阳之东，则比太阳晚两小时而沉没；若在西，则先于太阳两小时而上升。

金星的自转

金星自转的问题自伽利略以来，就一直吸引了从天文学家到普通人的兴趣，但得到这问题的确切答案却颇费了一番周折。因为这颗行星具有很强的亮光，在望远镜中看来，也很难看到其表面清晰的痕迹。我们所能看见的，只是表面上略有明暗差异的一团亮光！在望远镜下观测金星，正像我们看一个磨得很光但略有点暗淡的金属球一样。虽然如此，还是有些观测者认为他们分出了明暗的斑点。远在 1667 年，卡西尼（Cassini）就根据这些假定的斑点断定，金星约在不到 24 小时内绕轴自转一周。18 世纪中期意大利人布朗基尼（Blanchini）发表一篇很长的论文讨论了这问题，文中还附了许多插图。他的结论是，金星要 24 日以上才能绕轴自转一周。到了 1890 年，斯克亚巴列里则得到一个更为不同的结论，说金星绕轴自转周期与绕日公转周期相等。换句话说，金星只以一面对着太阳，正如同月亮只以一面对着地球一样。他每天观测若干小时，结果发现，金星南半球上有一些微小的点一直没有移动，而这一现象就推翻了金星一日左右自转一周的论调。罗尼尔在亚利桑那天文台仔细研究后，也赞同他的意见。

这些细心的观察者考查金星表面的特征后，所得关于自转周期的结论竟如此不同，这只有一种解释——这些特征实在都太不明显了。幸好现在我们有了威力强大的望远镜，才发现了事实的真相：金星自转比地球慢得多，一个金星日相当于 243 个地球日，比金星年还要稍长一些。金星两极并不存在像地球那样的扁率，地球的扁率是由于地球高速自转形成的，这也说明金星的自转比地球慢得多。另一个有趣的现象是，与地球相比，金星是倒转的，从金星北极看，它自转的方向为顺时针！此外，金星的自转周期又与它的轨道周期同步，所以当它与地球达到最近点时，总是以固定的一面朝着地球。

金星的大气

现在大家都已承认金星上包围着一层比地球更浓厚的大气。这是当1882年金星经过太阳表面时由本书著者在好望角（Cape of Good Hope）观测到的一种值得注意而又有趣的情形。当这颗行星有一半多一点经过太阳面时，它的外边缘就变得明亮起来。这种变化却不从弧的中心点开始（那样是正常折光所应有的现象），反而始于靠近弧一头的某一点上。这种奇特的现象由普林斯顿（Princeton）的罗素（Russell）解释了，他说那大气中蒸汽成分太多，因此我们不能由其中直接的折光而看到太阳光。我们所见到的只是飘在其大气中的一层照明了的云或蒸汽罢了。情形既然如此，地上的天文学家大概也就绝不能透过这些云去看见金星的固体本身了。因此那些假定的斑点也就只是永在变化的暂时的斑点了。

要表明那种甚至很敏锐的观测者都会被欺的幻象，我们不妨提出一件事实来。有些观测者都认为当金星下合时我们可以见其全面，它那时的状貌正如我们在新月初现时看我们的月亮一样，“新月在旧月的怀中”。月亮的那种情形，我们都知道可以看见的那黑暗半球是借助于地球的反光。但金星上却不会有地球或其他东西能反射充分的光上去的。有时有人解释这种现象，认为也许是金星上覆盖着一层磷光。但这还是归之于视觉的幻象为妙。这种现象是常在白昼看见的，那时天空非常明亮，那时磷火之类的微光是全不可见的。不论我们把这种光的来源归之于什么，它总应该在黄昏以后比在白昼更易看见的。事实上那时看不见，这就根本上取消了它的真实性了。

这情形证明了一条有名的心理学规律——如果经常能看见类似的事物时，想象常能生造出实际上不存在的事物。我们很习惯于看月亮上的情形，因此我们看金星时，也因大体现象相似而将那假定的相似情形不自知地加了进去。

约在1927年金星在有利的大距时，罗斯用威尔逊山天文台的大望远镜在红光及红外光下拍摄到金星照片。照片中金星的盘面是全白的。但用紫外光拍摄的却现出了清晰的斑纹——这还是第一次在这颗行星上清楚看见的。这是大气中的云纹，它们在日光透射到金星表面以前反射了大部分的紫外光。

在拍摄到的金星圆盘上两极有明亮的斑点，这与火星上的极冠（polar caps）有些相似，虽然比较短暂一些。经过圆面的黑带使人想到木星上的云带，同样的很快改变形状。

金星凌日

金星凌日是天文学中非常罕见的现象，因为平均起来要 60 年一次。在过去及未来数百年中约有一循环周期，约为 243 年间发生 4 次。两次凌日之间的时间约为：105.5 年一次，又 8 年一次，又 121.5 年一次，又 8 年一次，以后又 105.5 年一次再循环下去。金星凌日发生的日期如下：

1631 年 12 月 7 日　1639 年 12 月 4 日　1761 年 6 月 5 日　1769 年 6 月 3 日

1874 年 12 月 9 日　1882 年 12 月 6 日　2004 年 6 月 8 日　2012 年 6 月 6 日

以前对于这种凌日所起的兴趣是因为假定可以借此有最好的方法确定地球太阳之间的距离。由于这种假定以及这种现象的稀罕，过去的几次凌日遂经过大规模的观测。在 1761 年及 1769 年，重要的沿海国家都派一些观测者到世界各地去记录金星进入太阳圆面以及离开的准确时刻。在 1874 年及 1882 年，美、英、德、法都组织了大规模的远征队观测团。在这些机会的第一次中，美国观测团北方分布于中国、日本、东西伯利亚，南方分布于澳大利亚、新西兰岛等地。在 1882 年就用不着到这些地方远征了，因为在美国也可看得见凌日。南半球上就在好望角等处观测。这些次的观测对于确定金星的未来运动是很有价值的，但是后来有了更可靠的方法，因此在这一方面反而没有什么伟大价值了。

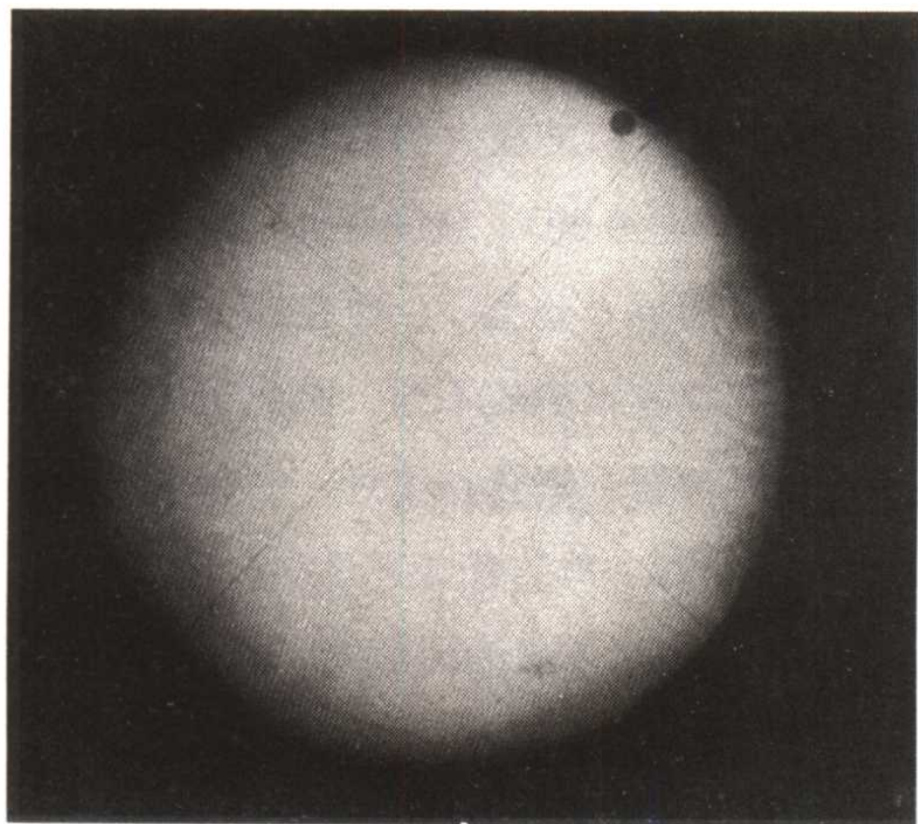


图 27　金星凌日

第四章　火星

近几年来各个国家在火星上集中了无比空前的兴趣。人类航天史开始以来，第一次有两架火星车同时在火星表面行驶。人们对火星的兴趣主要来源于它跟我们地球的巨大相似。它的大气、气候以及其他可注意的特点都使我们关心在那上面可能存在的原始生命。现在我来尽力说一些关于这方面我们实际已有的知识——从这些，我们仅仅能判定火星表面目前没有生命存在。至于其地表和极冠中是否可能有原始的细菌，则需要等待进一步对火星的深入考察——但是可以确定的是，和曾经人们所猜测的不同，火星上是没有智慧生物的。

我们先说一些琐细的特点，这可以帮助我们认识这颗行星。它的公转周期是687日或者说两年不到43日。如果这周期是恰好两年，火星就要在地球公转两次的时间作一次公转，而我们也会十分规律地隔两年见一次火星的冲了。但因为它走得比这快些，地球就需要一两个月的时光去追上它，所以，冲就要隔两年零一两个月一次了。这多出的一两个月在八次冲以后集成一年；因此，过了15年或17年以后，火星的冲又回到同一天而在轨道中所占的位置也差不多还原了。在这期间内地球已公转15次或17次，而火星只有八九次。

这两次冲相隔时间一月左右的差异是因为其轨道的极大的偏心率。在这一方面除了水星外没有一颗大行星能比得上。它的值是0.093，或说将近十分之一。因此，当它在近日点时差不多离太阳比平均距离要近十分之一，而在远日点时也差不多要远十分之一。它在冲位时对地球的距离也有很多的不同，因此在近日点和远日点的冲就有更大的不同了。如果冲时火星位置在近日点附近，火星与地球间距离小得只有5 600万千米；但在远日点时却比9 600万千米还要多。结果便是，在有利观测的冲位时（这只能在八九月中）要比在不利的冲位时（在二三月中）更亮3倍以上。

当火星接近冲位时是很易认出的，一则因它的光特强，一则因它的光显红色，这是跟大多数亮星很不同的。在望远镜中看它倒并没有肉眼看它有那么动人的红光，这是很奇怪的。

火星的表面及自转

惠更斯（Huygens）约在1659年第一个从望远镜中认出火星表面的变化的特性，并且为它画了一幅画。他所画出的特点到今日还能认出并且是被认为正确的。仔细观察这些细节可以使人们很容易看出这颗行星绕轴自转一周约需比我们的一天略长一点（24小时37分）。

这自转周期比任何其他行星（地球除外）的都算得更为精确。二百多年来火星都恪守这一周期自转，我们也还没有理由假定将来会有可见的变动。这时间跟我们的一日这样相近，其相差又只是多出37分钟，结果便是在连续的夜里的同一小时内，火星差不多是以同一面对着地球的。可是毕竟因为多出了一点，每天夜间要见它较前落后一点，因此在40日后我们已见到它全面各部对着地球了。

所有已知的火星表面情形都可在一幅图中表明——其明暗区域以及平常总可看见的包着它两极的白冠。当一极偏向我们因此也偏向太阳时，这白冠就逐渐减小，远离太阳时又加大。加大的情形是地上看不见的，但当它再现时却可看出比原先大了。火星北极冠直径1 000千米至2 000千米，厚度为4千米至6千米，扩展至北纬75度附近。各种已经发射的火星探测器发回的图像资料表明：火星上季节性的极冠是由大气中的二氧化碳凝结而成，而长年存在的极冠主要是由水冷凝而成，温度在-70℃到-139℃之间，由于二氧化碳随温度的变化而不断地气化和凝结，使得极冠的大小不断变化。极冠的大小随火星季节的变化而变化，在火星的冬季包围其极区，而夏季就全部或部分消融。

火星的运河

在 1877 年斯克亚巴列里发现了所谓“运河”。这是一些在这颗行星上纵横参差、比表面一般情形略微黑暗一点的条纹。在人类翻译史上，由于翻译失误而引起的误会恐怕以这次最甚了。斯克亚巴列里把这些条纹叫做 canale，这个单词在意大利文中的意思是水道——他这样称呼它们是因为当时认为火星表面上的黑暗区域都是海洋，这些连结海洋的路线就假定都有水，因而定名为水道。可是译成英文中的 cancel 之后，就有了“运河”的意思。这一小小的词义上的变动，让所有使用英语的人都以为这些就是火星居民的功绩——正像地上的运河是人类的工作成绩一样了。

关于这些“水道”，起初在天文学权威之间也有一些不同的意见。这是因为在地球上看起来，它们并不是平均一致的表面上的清晰的条纹。火星上各处都有些明暗的不同——又都那么微弱而不清楚，从这一块到那一块之间又只有几乎不可察觉的亮度差异，因此大都很难给它们划出一定的轮廓。把它们分辨出来已是极端的困难，在不同的光下，在我们大气不同的情形中，它们又都改变形貌，于是给它们画出的画就都大不相同了。在罗尼尔天文台（Lowell Observatory）的观测者所绘的图中，这些运河是细黑线，而且多得织成一面包住火星表面大部分的网。在斯克亚巴列里的图中，它们倒像是黯弱的宽阔地带，既不像罗尼尔天文台画的那样清楚，也不那样繁多。在这图中还有一点很有趣——在水道相交的地方都有圆点，好像圆形的湖一样。

火星上一个能很清楚地看出的特色是一块大而黑的近乎圆形的斑点，斑点的周围则是白色的。这个大斑点被称为“太阳湖”（solis lacus)。这是所有观测者都同意的。他们也还大致同意于从这湖分出的一些条纹或水道。但我们更进一步就要发觉他们并不完全同意于这些水道的数目以及周围的情形了。另一特色则是一块三角形的黑斑“大席尔蒂斯”（Syrtis major)，这是著名的物理学家惠更斯第一个画出的。

关于火星上“运河”的存在早已无疑义了。它们已经过许多天文学家的观测，并且有过很成功的摄影。大概说来，它们也许比早期观测者所见要宽阔些，更不规则也更不精美一些。我们认为这些“运河”是火星上自然的（非人工的）景物。

火星上曾有过洪水，这些河道十分清楚地证明了许多地方曾受到侵蚀。在过去，火星表面显然存在过水，甚至可能有过大湖和海洋。但是这些东西看来只存在很短的时间，而且据估计距今也有大约40亿年了。

火星的表面于是就有极有趣而又多变化的种种相貌了。在所有行星中（除了地球），它的表面是最适于望远镜观测的。它呈现一片带红色的背景，使人想到荒漠的原野。在这背景上我们看到一些蓝绿色大块——这是起先叫做“海”的，这名字一直延留到现在，正像月亮上的海一样，虽然这两种海现在都无人认为它是有水的地方。连接这些海的是一些较狭的暗纹，就是“运河”，这旧有的名字也随着海一同延续下来。

火星的四季

早期的观测认为火星极冠区主要被冰雪覆盖，但是最近的观测认为，火星的大气比我们的要稀薄得多，那层薄薄的大气主要是由二氧化碳（95.3%）加上氮气（2.7%）、氩气（1.6%）和微量的氧气（0.15%）和水汽（0.03%）组成的。最细心的观测告诉我们：火星大气中的云很少会遮蔽上面的景物。因为只有在大气中水汽凝结时才会下雪的，所以火星的极区中不大可能下那么大的雪。即使能在火星极区中下雪并且化去的雪量很少，积雪大概也只有几厘米深。

火星表面的平均大气压强仅为大约700帕斯卡（比地球上的1%还小），但它随着高度的变化而变化，在盆地的最深处可高达900帕斯卡，而在奥林匹斯山的顶端却只有100帕斯卡。但是它也足以支持偶尔席卷火星数十天之久的飓风和大风暴。火星那层薄薄的大气层虽然也能制造温室效应，但也只能提高其表面温度5℃，比我们所知道的金星和地球的表面温度少得多。

1976年，“海盗”号探测器接近火星，它发现火星的两极覆盖的物质主要是干冰，而不是积雪，因此否定了火星表面存在水的猜想（科学家们现在相信，干冰层的下面可能有冰水层）。那么，火星的四季是怎么形成的呢？当火星的一半球上春季渐过的时候，白色的极冠就逐渐减缩，这一半球的黑暗地方就更显明、绿色更重。当夏季渐过而极冠完全或差不多完全化去时，这些黑暗地方就很显然地

衰落而变成褐色。关于这种季候变迁的早期看法是说由于植物造成的——在火星春季植物开始茂盛，而秋季来临就又死去。当然这种说法已被证明是错误的。火星上看似季候变迁的现象根本不是植物的表现。那究竟是什么原因呢?

科学家们开始把注意力集中到火星表面的土壤上。或许火星表层土壤是由粉红色的类似长石的矿物构成的，或许是由一种地球上所没有的矿物所构成的？有人推测，火星表层土壤是由一种性质类似塑料的低价碳氧化物所构成。美国普林斯顿大学的地质学家迪特·哈格雷夫斯认为火星的表层土壤是由绿高岭石构成。千百万年前火星上的火成岩与火星上一度存在的山相互作用，形成了一层绿高岭石外壳。当时不断有大量陨石穿过薄薄的二氧化碳大气层落在火星表面，陨石落下时的巨大冲击产生了足够的热量，使火星表面某些区域的绿高岭石转变为红色的磁性矿物；而随后落下的陨石又将这些红色的磁性矿物击碎为细小的红色尘土，随风四散，分布到整个火星表面，从而使火星呈红色的外观。

火星的卫星

火星的两颗卫星是1877年霍尔（Hall）在海军天文台发现的。以前的观测未曾见到它们，是因为这两颗卫星异常的渺小。大概从没有人想到过卫星会那样小，因此也没有人费神用大望远镜去细心寻觅。可是发现以后它们却绝不是难以看见的东西了。当然对它们观测的难易程度是要依靠火星在轨道中的位置以及相对我们地球的方位所决定的。在火星接近冲位的时候，有三四个月甚至6个月（依情形而定）的时间可以观测它们。在近日点附近的冲时，甚至可以用直径不到30厘米的望远镜看见它们。究竟看出多么小，是要依观测者的技术和从眼中消去火星光的努力而定的。大致说来，一架直径30厘米至45厘米的望远镜是必需的。看它们的困难完全因火星的光辉而起。如果能将这光辉除去，从更小得多的望远镜中也无疑是可以看见的了。因为这种光辉的缘故，外层的一颗较容易看见——虽然内层的那颗更为明亮。

霍尔把外层的卫星叫做“火卫二”（Deimos），内层那颗叫做“火卫一”（Phobos），这两个都是古神话中战神（Mars）的侍从。火卫一有一特点：它与火星之间

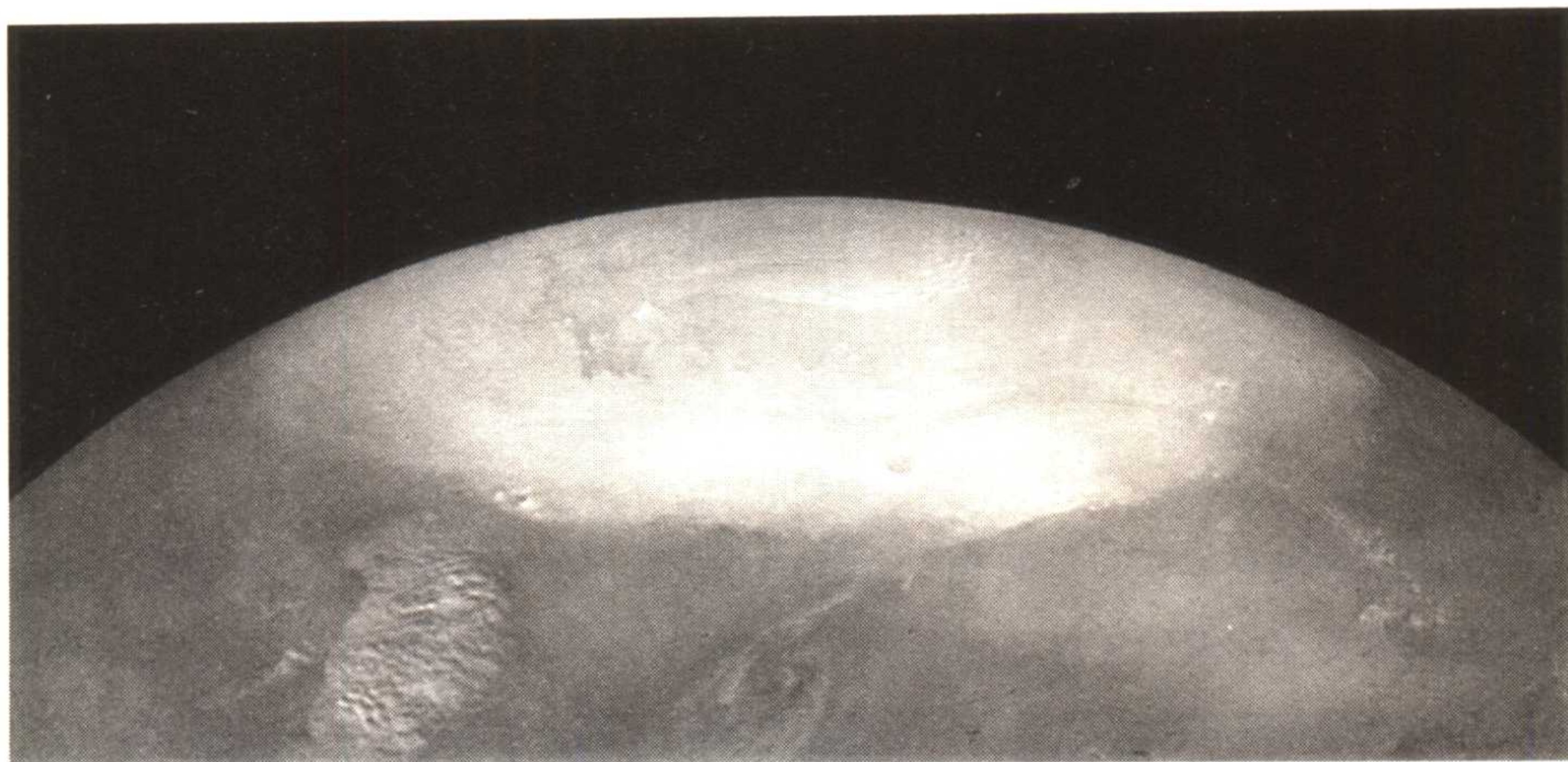


图 28　火星北极地区

的距离是太阳系中所有的卫星与其主星的距离中最短的，从火星表面算起只有 6 000 千米，它绕这颗行星旋转一周只用 7 小时 39 分，这比火星绕轴自转一次的时间的三分之一还少。因此，在火星上看来，最近的“月亮”出于西方而没于东方。

火卫二的公转期间是 30 小时 18 分。这种迅速运动的结果便是在它一起一落之间要过去差不多两天。

火卫一离火星表面只有 6 000 千米。如果我们未来的火星移民中有业余天文学家，那这一定是他们最有兴趣的对象。

在大小方面说来，这两位是我们在太阳系中看得见的最小的东西了（除了也许还有更黯弱的小行星）。光度的推测告诉我们火卫二的直径是 8 千米，火卫一的直径是 16 千米。我们所见的它们的大小和从纽约望波士顿空中悬的一枚苹果差不多了。

这两颗卫星的最大的用处是使天文学家能够借以研究出火星的准确的质量。这是证明了只有地球质量的九分之一。这是怎样得来的，我们将在后面论及行星质量的那一章中叙述。

第五章　小行星群

太阳系中火星木星轨道间有一个巨大的空隙，在行星距离都已准确测定后，当然要引起天文学家的注意了。当波德发表他的定律时，这就成了惹人注意的事件。是真的原有这空隙，还是因为填补这空隙的行星渺小得未被我们注意到呢?

这问题由意大利天文学家皮亚齐（Piazzi）解决了。他有一座小天文台在西西里（Sicily）的巴勒莫（Palermo）。他是一个热心的天文观测者，对于他的望远镜可以确定的恒星，他制作了一个恒星位置表，在1801年1月1日，他为新世纪行了开幕礼，在原先空无一物的地方发现了一颗星。这颗星不久就被证明了是寻觅了好久的行星。这颗星得到了个名字叫谷神星（Ceres）。

那时引起惊异的是，这颗行星竟然那样渺小，当知道了它的轨道以后，又发现其离心率很大。可是新的发现不久便来了。在这新行星被发现后还未完成一周公转时，不来梅（Bremen）的医生奥尔伯（Olbers）常利用闲暇时间作天文观测及研究，这时发现了在与前者同一天区内运转的另一行星。代替那一颗大行星的，竟然有了这两颗小行星。于是他提出意见，认为这些也许是一个行星的碎片，而假如真是这样，一定还可以发现许多。这个猜测的后半部分已经被证明是真实无疑了。在接着到来的3年中，又发现了两颗，一共是4颗小行星了。

这样过了约有40年。1845年，德国观测者亨克（Hencke）发现了第五颗。第二年加上了第六颗，于是开始了一连串不息的发现，一年一年增加下来，现在已经超过2万颗了。

猎取小行星

直到1890年这些天体的发现都是由于少数的观测者，他们用特别的注意去寻觅捕获这些小星，正如同猎者捕兽一样。他们也可以说是安置了陷阱，把黄道附近的天空小块天区的星画出图来。记得清楚了，再去守候那自投罗网的闯入者。只要出现了一个，这就是一颗小行星，于是猎者将它放进他的笼中。

约在1890年人们才发现摄影术是找到这些东西的更容易更有效的方法。天文学家把望远镜对准天空，开动定时装置，用较长的曝光时间（也许是半小时左右）为星摄影。真恒星一定在底片上现为小圆点，但假如碰巧行星在内，就一定会运动，它的影像就是一条短线而不是圆点了。天文学家用不着搜索天空只消搜索照片了，这工作容易得多，因为一颗行星可以从长尾巴上立刻认出。海德堡（Heidelberg）的沃尔夫（Max Wolf）用这个方法发现了500多颗小行星。

新近发现的小行星大半都是极黯弱的，而数目也好像随着黯弱的程度增长。平常推测有一万颗是在我们望远镜所及的范围以内。这些物体中的较大的也小得只能在平常望远镜中看成星似的点子，而它们的圆面即使用最有力的工具也不容易看出来。谷神星最大，直径有770千米。约有12颗直径超出160千米。最小的只能由其光度粗略地推算其大小了。它们的直径大概有32千米到48千米光景。

小行星的轨道

有的小行星的轨道的偏心率是很大的。例如希达尔戈星（Hidalgo）的轨道偏心率就是0.65，这就是说当在近日点时它离太阳比平均距离要近三分之二，在远日点时要远三分之二。它在离太阳最远的地方竟和土星差不多远了。

有的轨道的倾斜之大也是可注意的。有的超过了20°，希达尔戈星是43°。

那种认为这些东西也许是被一次炸裂所粉碎的行星残片的见解现已被抛弃了。那些轨道占领的边界太宽，如果这些小行星当初是一体时，不见得会这样的。依我们现代的哲学而言，这些东西从开始有时就和我们现在所见一样了。依星云假说的理论而言，所有行星的物质从前都是环绕太阳运行的云状物质的环。别的行

星都是由于环中物质渐渐集中于环中最密的一点，因而成为一颗星。可是也许造成小行星的这一环不像那样集中而成了这些碎片。

依照钱伯林（Chamberlin）和莫尔顿（Moulton）的星子假说（planetesimal hypothesis），这些小行星是由于较少的比大行星小的星的碰撞而成的。因此其中就有些没有得到那近圆而偏斜的轨道，于是成功进行了许多次的碰撞。

“半成品说”理论则认为：约46亿年前太阳系形成的早期，太阳系由一团星云凝聚成天体。凝聚过程中有一部分形成大行星，有一部分没有形成大行星，分布在火星和木星的轨道之间，所以才有了小行星带。

轨道的分群

这些小行星的轨道有一特色，可以使我们对它们的由来得到一点线索。我曾经解释过：行星轨道都近似圆形，但太阳并不在圆心。现在且假想我们从无穷的高处俯视太阳系，再假定小行星轨道都可看成精细画出的圆圈。这些圆圈就要互相交错，像织网一样，形成一个较宽的环，环外边的直径几乎比内边直径加一倍。

可是假定我们能把这些圆圈当作丝线圈拿起来，再重新布置一下使它们都以太阳为中心，却不改它们的大小。那些较大的轨道直径就差不多要比较小的加一倍，因此这些圆圈就要占据很宽的空间，如图29所示。奇怪的是它们并不平均分布于全部占有的空间，却集合成清楚分开的几群。这也在图29中显示着，并且又用不同的但更完全的方法在图30中表示着。图30的说明如下：每一行星都在一定的日期内围绕太阳公转一次，它离太阳愈远，这周期便愈长。因为轨道的全圆周是129.6万秒（360度），所以用这数目除以公转周期，得的商数就是表示那颗行星平均每日运行多少角度了。这角度就叫做该行星的“平均运动”（mean motion）。小行星的平均运动约自300秒起到1 100秒以上，度数愈大，公转周期愈短，行星离太阳愈近。

现在我们画出一道水平线，在旁边标注度数，从300秒到1 200秒，每隔100秒画一格。在每一格中我们把所有平均运动在这以内的小行星都用小点画出来。

略微考察这幅图，我们就可以分出五群六群来。最外层的约在400秒与460

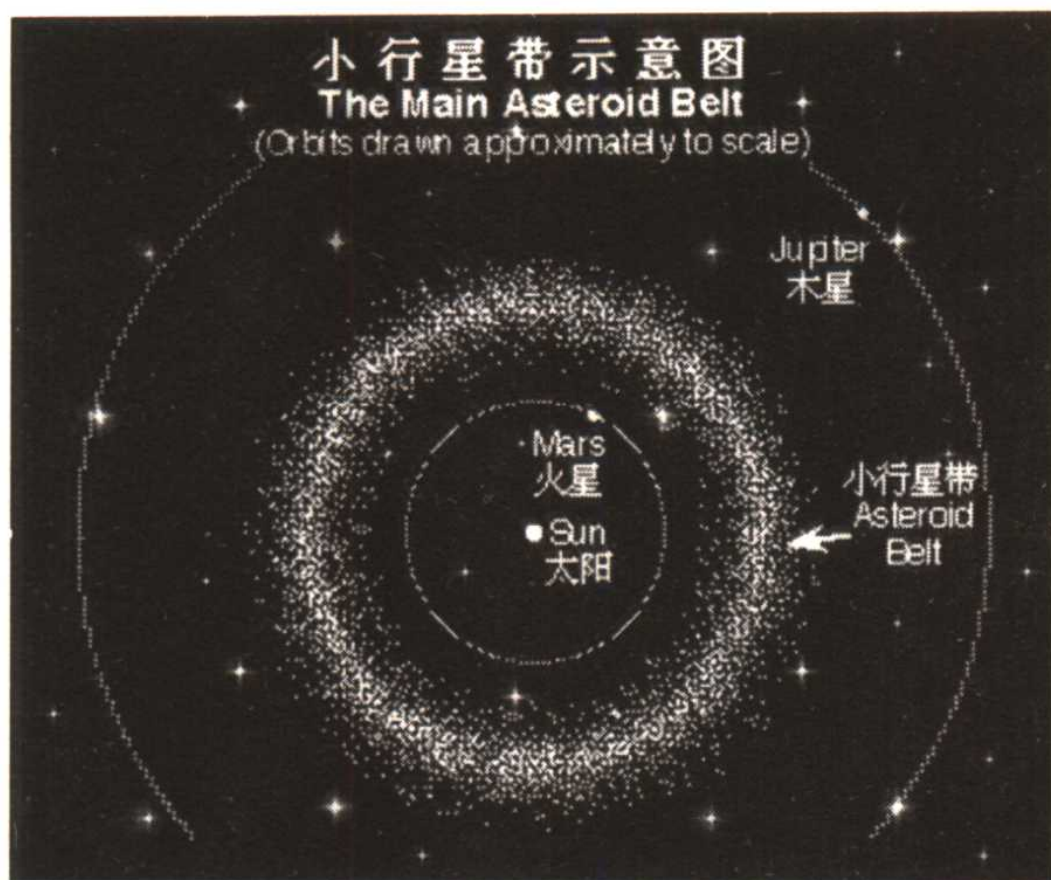


图 29　小行星带

秒之间，离木星也愈近，公转周期也差不多要 8 年之久。以后是一道宽空隙，直到 560 秒，我们才又发现 10 颗行星在 540 秒与 580 秒之间。从此以下，行星数愈加增多，但在 700 秒、750 秒、900 秒旁却只有很少或简直没有。好了，奇怪的事就在这一点上：这些空隙都是行星运动恰与木星成一简单关系的地方。一颗平均运动为 900 秒的行星绕太阳一周的时间是木星的 1/3，600秒的是 1/2，750 秒的是 2/5。依天体力学定律，凡一颗行星与其他行星有上述的简单关系的会由于互相的作用而逐渐产生大的轨道变化。因此，第一个指出这

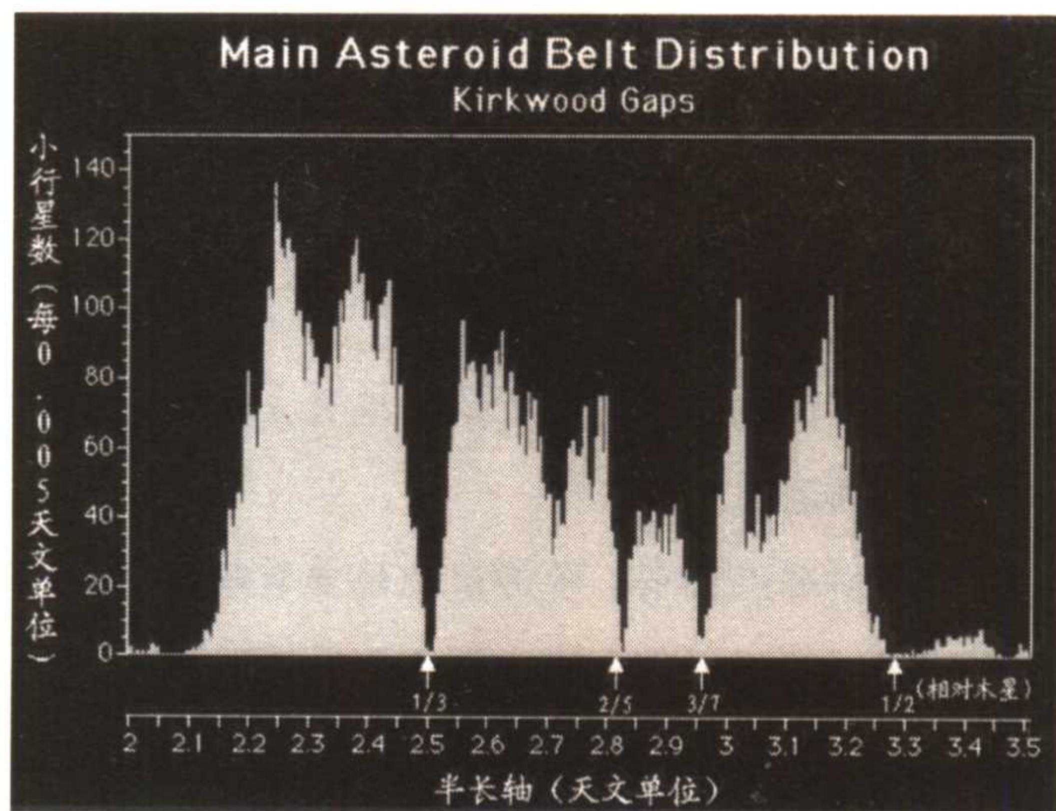


图 30　小行星轨道的分布

些空隙的柯克伍德（Kirkwood）就假定这是因为空隙中原有的行星不能永久保持其轨道。但是，奇怪的是在通约数为木星三分之二或相等的地方却不但没有空隙，反而有成群的行星，其中的原因尚不明了，有人给出了统计解释，认为通约数为 1/4、2/7、1/3、2/5、3/7、1/2 的地方与小行星的径向分布概率的零点相一致。

爱神星

这些小行星中有一颗非常特别，因此我们也要加以特别的注意。1898 年以前所知的数百颗小行星都在火星木星轨道之间运行。但那一年的夏天，柏林的威特（Witt）发现了一颗行星在近日点时竟进入了火星轨道的内部——实际已在距地球轨道 2 200 万千米以内。他替它起名字叫做“爱神星”（Eros）。这颗行星的轨道偏心率又很大，在远日点时又远远逃出了火星的轨道外。此外，这颗行星与火星的两轨道竟如同锁链的两环相结，因此如果轨道都是铁丝的就要连套在一起了。

这颗行星又由于轨道的倾斜，常脱出了黄道带的范围以外。当 1900 年接近地球时，它竟跑到北方去了，跑得那样远，在北纬中部都不见它落下地平线，而经过子午圈时也在天顶以北了。它的运动这样特别，无疑是我们不能早早发现它的一个原因。当它在 1900~1901 年接近地球时，我们曾很仔细地考察了一下这颗爱神星，却发现它的光度每小时都在改变。细心地观察测出这种变光有规则的周期是 5 小时 15 分。早先有人就假定这颗星实际上是两颗星互相绕着转。可是更近似的猜测说这颗行星表面上有光明区和黑暗区，它的变光是由于向着我们的半球上明暗区域的变换。2000 年小行星探测器 NEAR 终于接近了爱神星，它发回的照片揭示了谜底——爱神星的亮度变化反映出它是一个 40×14×14 立方千米的表面起伏不平的柱体。

对于爱神星以外的小行星，也有人怀疑是由于绕轴自转而生的变光，但至今一切还未确定。

从科学观点看来，爱神星也是最有趣味的，因为它有时离地球那样近，它的距离就可以测得极其准确，而太阳的距离以及全太阳系的大小由此也可以比用其他任何方法测得更为准确。不幸它的最接近的时候却相隔很久。

在 1900 年爱神星离地球只有约 4 800 万千米。在 1931 年 1 月 30 日它的距离只有约 2 600 万千米，这比任何曾经接近过地球的行星都更近，虽然它还可以更近 320 万千米。

近地小行星

现在已经发现的数量众多的小行星中，大概 1 400 多颗是轨道可能与地球轨道相汇的近地小行星，这些小天体的轨道有可能与地球轨道发生交叉，其中 500 多颗直径约 1 千米的小行星任何一颗一旦撞击地球，将带来毁灭性威胁。

小行星撞击地球的可能性究竟有多大？平均几千万年发生一次灭绝人类的撞击，平均每十几万年发生一次危及全球四分之一人口生命的撞击，平均 100 年发生一次 1908 年通古斯大爆炸，爆炸当量相当于 500 到 1 000 颗广岛原子弹。幸好月亮和木星都是地球的天然保护伞，它们阻止了许多小行星小天体接近地球。

对小行星的防范工作包括建立起空间监测搜索网、努力去寻找尚未发现的近地小天体、测定这些天体的精确运行轨道等方面。面对小行星对地球的可能威胁，美国宇航局制定了一个“太空监视计划”，准备制造一个小行星自动发现器，携带 182 厘米的反射望远镜，把绝对星等在 18 等以上的阿波罗型小行星全部找到。

另外，中国科学院国家天文台在 1985 年开始实施施密特 CCD 小行星计划，使用河北省兴隆观测基地 60／90 厘米施密特望远镜对小行星进行巡天观测。1995 年开始的“近地小行星追踪计划”由美国 GPL 和美国空军合作，使用美国空军在夏威夷毛伊岛地面电子光学深空监测站。1996 年 3 月 26 日，罗马成立了一个“太空防卫基金会”，由各国在近地小行星领域工作的一些知名天文学家组成。这个基金会准备在全球范围内组成专用的望远镜观测网，对近地小行星和彗星进行系统搜寻和监测。

美国宇航局把更多的精力投入在观测和研究小行星的本质方面，是纯铁的多还是石铁混合的多，然后采取对策。一旦发现大约 10 千米的小天体有可能撞向地球，而且轨道越来越低了，这时候可以采取措施，放置太阳能帆板或大型火箭发动机，人为改变它的轨道，把近地小行星推离原来轨道。

第六章　木星及其卫星

木星是全太阳系中除了太阳就算第一的“巨人行星”。它确实在外形和质量上都要比所有其他行星合并起来还要大 3 倍。但与我们星系中央的巨大发光体比起来，还是远不可及的，即使是木星这样的庞然大物，也还不到太阳的千分之一。

在它的冲时（每年约迟一月——也就是 13 月一冲），这颗行星很容易在晚间天空认出它的光彩与颜色。它那时是全天上星状物体中除去金星之外（有时候火星也会比它亮）最明亮的一颗，它和火星很容易分辨，因为它是白色的。如果我们用一架最小的望远镜，甚至用很好的普通望远镜来看它，就可立刻看出它不是一颗星似的点子，而是很不小的一个球体。我们还可见到有两道类似暗影的带子横在圆面上，这是二百多年前惠更斯注意到并且画出来的。用更大的望远镜看来，这些带状物就化成斑驳陆离的云状物，而且它们永在变化，不仅是每月不同，甚至每夜不同。每夜以及每小时仔细观测它们的情况，就可发觉这颗行星在约 9 小时 55 分钟内绕轴自转一次。因此天文学家可以在一夜中看到它的全部表面轮流出现到眼前来。值得一提的是，我们现在所看到的木星的斑纹，与 10 年前所看到的已经有了不少的区别。原因是苏梅克-列维 9 号彗星无意间闯入了木星的势力范围，被木星的引力吸引，并在 1994 年 7 月撞上了木星。这一次巨大的撞击大大地改变了木星表面的形象。

这颗行星有两个特色会立刻引起有望远镜观测者的注意。其中之一是圆面上光度并不平均，渐到边缘光度渐阴暗，光在近边缘处看来并不耀眼，而是柔软地散开了。从这方面说，它的情形与火星及月亮恰成对照。这边上的阴暗通常认为是由于围绕这颗行星的厚密的大气所造成的。

另一特色是这颗行星的形状——木星并不是正圆形，它的两极较为平扁，如同我们的地球，但远甚于地球。在别的行星上的观测者是很难发现地球与正圆球形之差的。木星的显著的扁率是由于它绕轴自转速度快使它的赤道部分凸起来了。

木星的可见的表面

在望远镜中所见的木星状貌同我们大气中所见的云一样多变。那上面常有延长的云层，其形成的原因也显然和我们大气中云层的来历一样——是由于空气的流动。在这些云中间，常可见到白色圆斑。那些云的颜色有时是淡红的，尤其是近赤道的部分。在赤道南和北的纬度中部区域的云是最暗最清楚的。就是这两处的云在小望远镜中呈现两条黑带。

木星的外观几乎在每一点上都和火星大不相同，最显著的一点就是完全没有固定不变的外貌。火星图可以精确地画出来并且经一代代人的验证，可是要画这样一幅永久的木星图却完全不可能。

虽然木星表面是这样的不稳定，却还有一些情形是经历了许多年不改的。其中最可注意的就是约在 1878 年出现于这颗行星南半球的纬度中部的红色大斑点，而现在通常被天文学家称为“大红斑”。这个巨大的斑点在鼎盛时期，长 2.5 万千米、跨度 1.2 万千米，足以容纳两个地球，非常容易看到。十年以后它开始消隐，但有时仿佛完全消失了，过些时间又重新明亮起来。这种变化一直持续至今。或许，将来这样的现象还将持续出现。人们认为大红斑是一个高压区，那里的云层顶端比周围地区高得多，也特别冷。在大红斑的下方还有一块白色的大斑点则是两百多年前被注意到的，现在还可以很清楚地被观测到。

木星的结构

木星的结构还是一个未决的问题。还没有一种假说可以立刻解释所有的事实。

也许木星的最可注意的特色就在它的密度之小。木星的直径约有地球的 11 倍，因此它的体积要比地球大 1 300 倍以上，但它的质量却只比地球的 300 倍多一点。故而，它的密度就一定要不如地球了，事实它的密度也只比水的大 1／3。由简单的算术就可知道它表面上的重力约为地球表面上的 2~3 倍之间。在这样引力之下，我们很可假定它的内部遭了极大的压缩，而那儿的密度也要比较大的。如果它也是和地球表面一样由固体或液体物质构成，那我们上述的这些情形就一定

可靠了。单从事实做结论，它的外层应该是由气状物质构成的。

除了这颗行星变幻莫测的形貌可以作为它有包围的大气的证据外，我们还有一个极可靠的证据来自它的自转规律——我们发现木星跟太阳有一点相同，它的赤道部分自转周期比北纬中部地方的自转周期短，虽然它绕的圈子更长。赤道附近与纬度中部的自转时间之差约为 5 分钟。这就是说，赤道部分在 9 小时 50 分钟内自转一周，纬度中部则要 9 小时 55 分钟才能自转一周。这就等于这两部分的速度的差是约每小时 320 千米；假如表面是液体或者是固体的，似乎绝不会有这种情形的——这一猜测已经被和苏梅克-列维 9 号彗星几乎同时接近木星的“伽利略”号木星探测器证实了。

木星由 90%的氢和 10%的氦及少量的甲烷、水、氨组成。这与形成整个太阳系的原始的太阳系星云的组成十分相似。来自“伽利略”号的木星大气数据只探测到了云层下 150 千米处，所以说，关于木星内部结构的探测还很有限。目前的推测是：这颗行星有一固体的冷的中心核，相当于 10~15 个地球的质量，核的密度也许可以和地球或其他固体行星相比。内核上是大部分的行星物质集结地，以液态金属氢的形式存在。液态金属氢由离子化的质子与电子组成，类似于太阳的内部，不过温度低多了。木星内部压强大约为 4 000 亿帕斯卡。

木星的卫星

当伽利略第一次把他的小望远镜指着木星时，他高兴而惊讶地发现了它有四颗小小的伴侣。他一夜一夜地守望下去，发现它们都围绕着中心体转，正像行星绕太阳（值得注意的是，太阳中心说在当时是未被公认的学说）一样。这种与哥白尼的日心理论非常相似的结构很有力地支持了日心说。

这些小天体可以用普通的天文望远镜甚至廉价的玩具望远镜看见。有人甚至宣称曾经不借助任何工具，用肉眼就曾经成功地观测到了它们。如果没有木星的存在，它们一定是和肉眼所能看见的最小的星一样亮——但木星的光辉太强了，这才给肉眼观测这 4 颗木星卫星带来了困难。

虽然木星的 4 颗卫星有名字叫 Io，Europa，Ganymede，Callisto，但平常却依它

们离行星远近来称呼它们。木卫二比我们的月亮小一点，木卫一却较之稍大一号。木卫三、木卫四的直径有 5 100 千米，比月亮约大 50%；这是太阳系中最大的卫星，甚至比水星还要大。可是由于它们离太阳的距离比日月距离远了 5 倍，4 颗联合起来照在木星上的光还没有地球上月光的三分之一。并且和月亮永远以一面对着地球类似，这些卫星也都永以同一半球对着木星——换句话说，它们自转与公转的周期相等。

1892 年以前大家只知道这 4 颗卫星，后来巴纳德在里克天文台发现了第五颗，比前 4 颗更接近木星，也更暗淡得多。它在不到 12 小时的时间内，就绕木星一周，这是除了火星内层卫星外已知的最短公转周期，但这还是比木星的自转周期长一点。而原先 4 颗卫星中最内的一颗，也就是木卫一，它的公转周期是 1 日又 18.5 小时。而最外一颗则要差不多 17 天才能环绕木星一周。

木星的第六颗、第七颗卫星是 1904 年、1905 年佩林（Perrine）在里克天文台发现的。两者离行星的平均距离差不多都是 1 100 千米以上，公转周期约在 8 个月到 9 个月之间。紧接着又发现了另外更远的一对，总数一共是 9 颗了。木卫八是 1908 年梅洛特（Melotte）在格林威治天文台发现的，木卫九是 1914 年尼科尔森（Nicholson）在里克天文台发现的。它们俩到行星的距离约自 2 400 万到 3 200 万千米，公转周期都超过了两年。除了在所有太阳系的卫星中离它们的主星算最远外，它们还有一点跟这系中大部分成员不同，就是它们从东往西旋转。

随着现代天文观测技术的发展，木星的卫星被越来越多地发现，到了现在，科学家们已经利用包括计算机在内的各种手段发现了 63 颗木星卫星。

木星卫星中较外的四颗的轨道偏心率都比较内的大。这些卫星都很小，直径只有约 160 千米或许还少得多，因此只能用大望远镜才能看见。有人以为它们的来历与内层卫星不同。有不少天文学家认为它们也许是被木星的巨大引力捕捉到了的小行星和彗星——就和曾经的苏梅克-列维 9 号一样。

这 4 颗明亮的卫星在环绕木星旋转时有许多很有趣的现象，我们可以用小型的望远镜观测到。这就是它们的“蚀”和“凌”。当然木星也和其他不透明体一样是有影子的。这些卫星环绕木星在经过木星那一边的途中几乎是必定要从阴影中经过的（木卫四和更远的卫星有时是例外）。当一颗卫星进阴影的时候，它将渐渐黯淡，终至于完全消失。

因为同样的原因，当这些卫星绕到木星这一边时，往往会从木星圆面上经过。一般定律是，当一颗卫星刚开始侵犯木星时，它看来比木星更亮——这是因为木星的边上较暗。可是当接近了中央部分时，看起来则又没有后面背景亮了。当然这不是因为卫星的亮度有变化，只是因为木星的中央部分比边界更明亮——这一层我们已经提到过了。

同样有趣的是卫星的影子，在这种情形下常可见到这些影子投射在木星上，看来像一粒黑点伴随着卫星经过。

木星卫星的种种现象（包括它们以及它们影子的“凌星”）都在航海历书中有预报，因此一个观测者可以很清楚地知道何时能观测到“星食”或“凌星”。

那 4 颗最早发现的卫星中最内一颗的食约在不到两天内发生一次。一个在地球上未知区域内的观测者可借其时刻来判定当地的经度。他要先把自己的表与地方时的误差纠正——这是一种简单的天文观测方法，凡天文学家和航海家都熟悉的。然后，他把他所观测到卫星凌木（或者是食）的确切时刻与历书中预告的格林标准时比较一下。依照我们在本书“时间与经度”一章中所说的方法，就可依此差异得出当地的经度了。

但这方法并不十分精确。这种观测方法，其误差约为 1 分钟，或者说在赤道上有约 24 千米的误差。

木星的光环

木星光环的发现纯属意料之外，只是由于“旅行者”1 号的两位科学家一再坚持探测器在航行 10 亿千米后，应该去顺路看一下木星是否有光环存在，于是意外地发现了木星的光环。后来地面上的望远镜也拍摄到了它们。木星的光环较暗（反照率为 0.05），它们由许多粒状的岩石材料组成。由于大气层和磁场的作用，木星光环中的粒子可能并不稳定地存在。这样一来，如果光环要保持形状，它们要被不停地补充粒子。两颗处在光环中公转的小卫星——木卫十六和木卫十七显然是光环资源的最佳候选处。

第七章　土星及其系统

土星在大小和质量两方面都是行星中仅次于木星的。它在 29.5 年的时间中环绕太阳一周。当这颗行星可以看见时，观测者也大半不难认出它来，一则因为它的光微带红色，二则因为它的光是固定的，不像它周围的恒星一样闪烁。

虽然土星远不如木星明亮，但它那巨大的光环却使它成为太阳系中最漂亮的一个。虽然别的不少行星也拥有光环，但是像土星那样美丽而巨大的光环却是独一无二的。早期用望远镜的观测者曾经认为土星的光环是一个谜。在伽利略看来它们好像是土星两面的把手。但过了一两年后他却又看不到它们了。我们现在知道这是因为土星在轨道中运动，这些光环的边恰好冲着我们，竟然薄得连望远镜中也看不到了。可是这“把手”的突然消失使得那位伟大的科学家大惑不解，据说他怕自己受了什么幻象的欺骗，于是竟停止了观测土星。后来他年纪渐老，把继续观测的工作委托给别人。不久这两面的把手又出现了，可是还无法研究出它们究竟是什么。过了四十多年后，这谜才由天文学家兼物理学家的惠更斯解答了，他说明这颗行星周围有很薄的平面光环并不与之接触，却与黄道倾斜。

土星的物理结构

土星的物理的构成跟它的邻居木星有很多的相似点。它们也同样以密度之小而引起注意，土星甚至比水的密度还小。还有一点相近的是自转迅速，土星绕轴自转一周约需 10 小时 14 分，比木星自转周期略多一点。土星表面也好像为云状物所变幻，很像木星，但较黯弱，因此不能看得同样清楚。

我们说过的关于木星密度之小的大概起因的话也可同样用在土星上。大概是

这颗行星有一个较小但质量较大的中心核，周围被极厚的大气蒙蔽，而我们所见的只是这大气的外层而已。

土星光环的各种变化

巴黎天文台（Paris Observatory）创立于1666年，是路易十四（Louis XIV）王朝时期法国一大科学部门。卡西尼就是在那儿发现了土星光环的环缝，知道了光环实际分为两道，一道在外一道在内，却同在一平面上。外层光环似乎又可以一分为二，发现这一道缝的是恩克（Encke），因此叫做恩克环缝。它决没有卡西尼环缝那样清晰，只是一道轻影而已。

为了把土星光环的各种变化状态表示清楚，我们先画一幅假如我们能够垂直地看它们（这是万办不到的）时的形状。在图31中我们先要注意卡西尼环缝，它把光环一分为二，一内一外，外环较窄。于是在外环上我们又看到那较模糊的恩克环缝，这应该是比前者更模糊更难看清的。内环上我们注意到它的内侧渐渐黯淡，有一道灰暗的边叫做“土星暗环”（crape ring）。这是哈佛天文台的邦德（Bond）第一个描绘出来的，许久以来这都被认为是另外独立的一道光环。但细心的观测却证明并非如此。这道暗环只是连接着外面的环，而外面的环也只渐渐漂移到这道环上去。

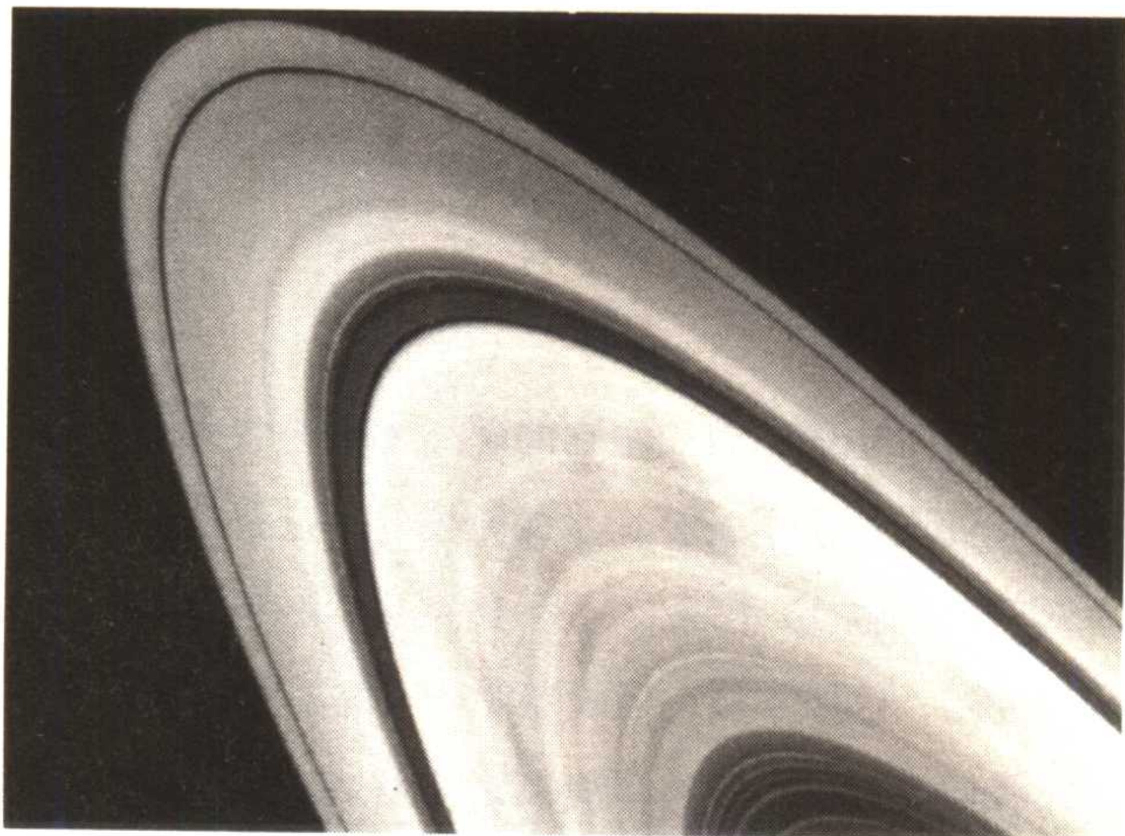


图31 土星光环详图

土星光环向土星轨道平面倾斜约 27 度，并且当土星绕太阳作公转时仍保持着在空间中的方向不变。这种情形可在图 32 中见到，那图表示土星绕太阳轨道的远观。当土星在 A 点时，太阳光照在光环的北方（上方）。7 年以后，土星到 B 点，光环的边向着太阳。过 B 点以后，太阳光照又到了南方（下方），偏斜度逐渐增加直到土星达到 C 点，那时偏斜最大，约有 27 度。以后光环对太阳方面的倾侧逐渐减小，等到了 D 点时，光环的边缘又对着太阳了。从 D 点到 A 点再到 B 点，太阳光又重新回到了北方。

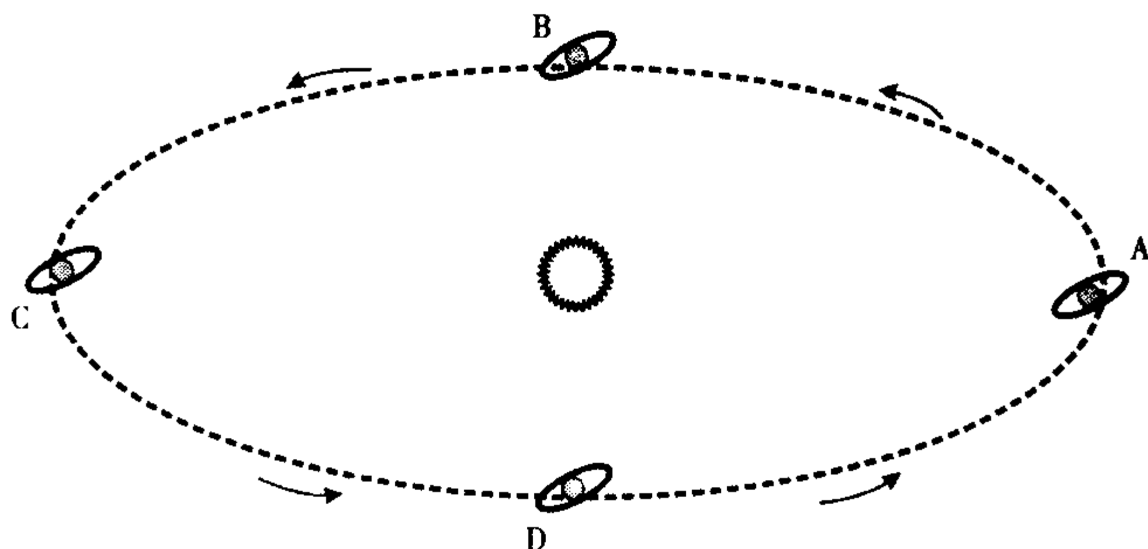


图 32 土星光环平面的方向不变

比起土星来，地球离太阳简直太近了，竟使我们观测土星光环时差不多和从太阳上望去一样。有 15 年的时间我们可以看见光环的北面，在这时期的第 7 个年头，我们可以看到它在最大角度上。年复一年过去，角度就越来越小，光环也开始以边的方向对着我们，最后竟缩成一道横过土星的线，最后完全消失不见。以后又渐渐展开，开始展现光环的南面，再过 15 年再合上——如此周而复始 30 年一轮回。

当我们有了这些光环真实形状的概念后就不难明白它们给我们的印象。这些光环在我们的角度看来是永远偏斜着的，却绝不超出 27 度角。土星及其光环的最常见的形状是如图 33 所示。光环倾角愈大，对于观测者的我们来说，观察起来就越便利越清晰。那时是观察环缝与暗环的最佳时机。土星的暗影映在光环上呈现出一道缺口的样子。像内环的边一样经过土星上的暗道的，则是光环投射在土星上的影子。

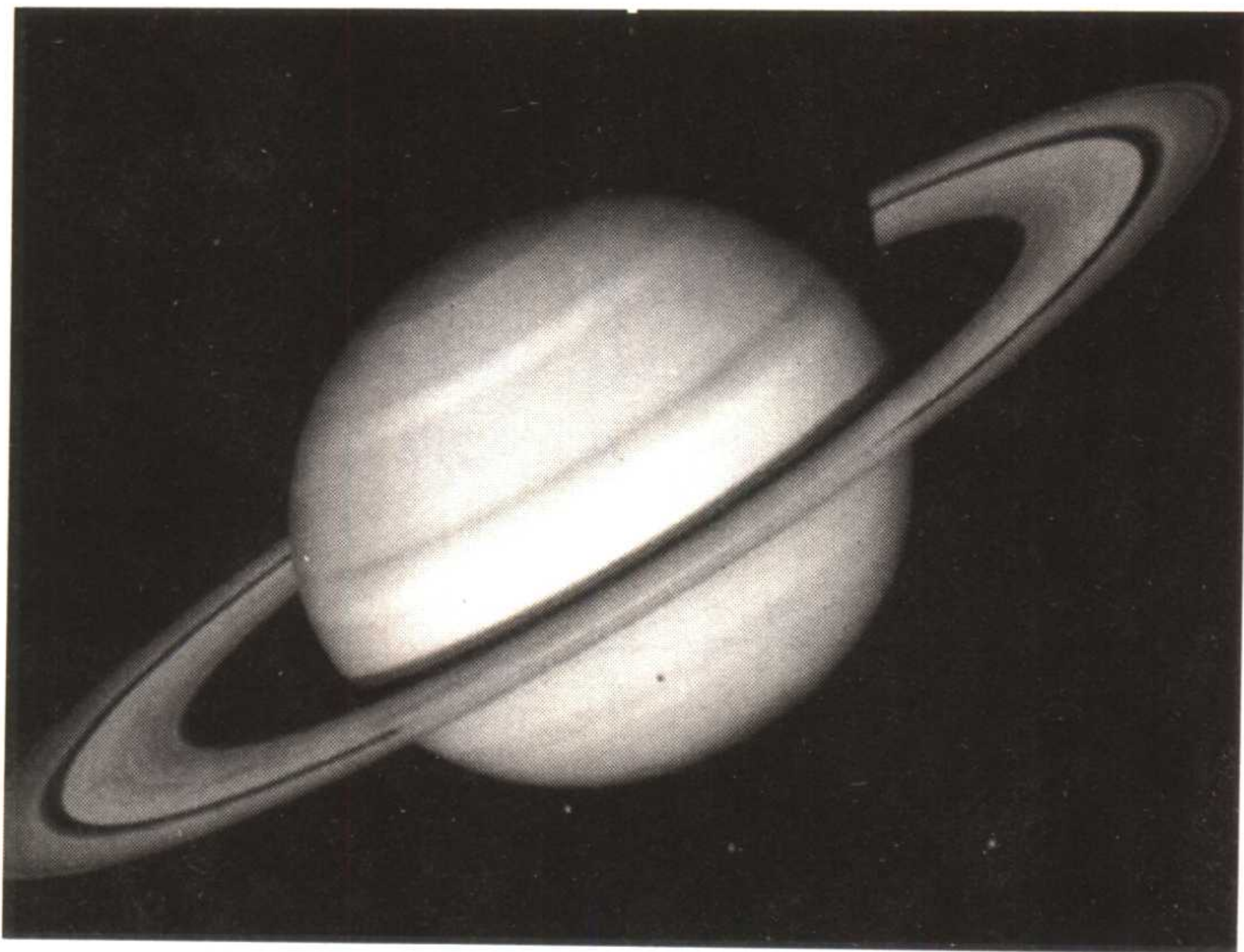


图 33 倾斜的土星光环

光环的本质

当大家公认我们在地上研究所得的牛顿力学定律也统治着天体运动时，土星光环又引起了一个谜。什么使这些光环保持其位置的呢？什么使土星不奔向内环而闹得“翻云覆雨”毁掉整个美丽的结构呢？在观测证据还未得到时，大家已明白光环决不是像看来一样连成一片的了。它们在土星的巨大的吸潮力之下决不能保持联系。它们是由一些类似卫星的环绕行星的小物体构成的。很明显，这种见解最后非得被承认不可，可是在很长一段时期内，却一直得不到观测的证据，一直等到基勒（Keeler）用分光仪观测土星，才发现当光环的光散成光谱时，暗光谱线会发生一些移动。这表明光环各部分是以不同角速度环绕土星的——最外层绕行角速度最慢，越往里角速度越快，一直增加到最内层，而每个点的速度，都等于该处若有卫星时那颗卫星的速度——所以我们完全可以由这个证据判定，土星的光环是由许多非常小的碎片组成的。但是土星（以及其他类木行星）的光环的由来还不清楚，尽管它们可能自形成时就有光环，但是光环系统是不稳定的，它们可能在前进过程中不断更新，也可能是比较大的卫星的碎片。

土星的卫星

除了光环以外，土星还有22颗卫星，也具有卫星众多之优越地位。它们的大小以及离土星的远近都很不相同。其中之一叫泰坦（即土卫六，Titan），可以用小望远镜望见，至于最小的只有在极有力的望远镜中才可看到。

泰坦是惠更斯想弄明白土星光环本质的时候，碰巧发现的。其中，还有一个故事是从惠更斯的通信文集公开后大家知道的。这位天文学家依照当时习惯，想保障他的发现的优先权而又不让别人知道，就把这发现隐藏在一个谜语里，这个谜语也是一些字母，排好了时可以隐晦地告诉读者土星的伴侣在15日内环绕土星一周。惠更斯把这谜语送了一份给英国著名天文学家沃利斯（Wallis）。沃利斯给惠更斯答复，除谢谢他的关心之外，还说他自己也有些话要说，因此也给了一些比惠更斯所给的更长的字母，当惠更斯将自己的谜语向沃利斯解释了以后，他得到了沃利斯的答复却大吃一惊，因为沃利斯的谜语解释的一切正是与自己相同的发现，不过当然是用词不同而且长些罢了。直到后来才知道原来是这位专门摆弄数字的沃利斯想告诉惠更斯靠这类谜语隐藏结论毫无意义，因而在看明白了谜意后，自己造了一个同样意思的谜语给惠更斯而已。

值得一提的是，泰坦近年来越来越受到科学家的重视，原因是在那颗卫星上有一个值得注意的大气层。在地表，它的压力大于15万帕斯卡（比地球的高50%）。它主要由分子氮组成（就像地球的），另外仅有6%的氩气和一些甲烷。十分有趣的是，还有一打微量的其他有机化合物（比如乙烷，氢氰酸，二氧化碳）。它们在土卫六的大气层上部被太阳光破坏。这样的结果是类似于在大城市上空发现的烟雾，但要更厚。在许多方面，这类似于地球历史上生命开始出现的早期的条件。

惠更斯在1655年宣布了土星卫星泰坦的发现以后，就庆贺太阳系的完成了。那时恰有七大七小，正符合了欧洲文化上的一种魔数。但在以后三十年中卡西尼就挠乱了这个神奇系统，他又发现了4颗土星的卫星。以后又过了一百年，伟大的赫歇耳（Herschel）又发现了两颗。第八颗在1848年经邦德在哈佛天文台发现，第九颗在1898年经皮克林（Pickering）发现……

下面是一张表，其中有它们离土星的距离（以千米为单位）和公转周期，以

及发现者的姓名。

编号	名称	发现者	发现年	对土星距离（千米）	公转周期（天）
土卫一	Mimas	赫歇耳（Herschel）	1789	186 000	0.94
土卫二	Enceledus	赫歇耳	1789	238 000	1.37
土卫三	Tethys	卡西尼（Cassini）	1684	295 000	1.89
土卫四	Dione	卡西尼	1684	377 000	2.74
土卫五	Rhea	卡西尼	1672	527 000	4.52
土卫六	Titan	惠更斯（Huygens）	1655	1 222 000	15.95
土卫七	Hyperion	邦德（Bond）	1848	1 481 000	21.28
土卫八	Iapetus	卡西尼	1671	3 561 000	79.33
土卫九	Phoebe	皮克林（Pickering）	1898	12 952 000	-550.48

这表中最可注意的是这些卫星的距离相差非常远，并且较内层4颗卫星的公转周期间有一种很奇妙的和谐关系，这是由于引潮力的影响。5颗内层的卫星仿佛是自成一群。以后就是一大空隙，比五颗中最里层一颗的距离还要宽；此后才是另外一群二颗，泰坦与海勃利安（土卫七，Hyperion）。再往外又是一空隙，比海勃利安的距离还要宽，此后才是伊阿珀托斯（土卫八，Iapetus），最后才是福比（土卫九，Phoebe），差不多又远了四倍。

伴随着的是公转周期之间的有趣的关系——土卫三的周期几乎恰好是第一颗的二倍；而第四颗又几乎是第二颗的二倍。还有，泰坦周期的四倍几乎正好是海勃利安周期的三倍。

最后提到的这层关系的结果便是，这两颗卫星借引力而产生的极奇怪的相互作用。为表明这一点，我们画了一幅它们二者的轨道图。两者中靠外的一颗，海勃利安的轨道有很大的偏心率，这可由图中看出。假定某一时候两者正在一线上相合，靠内较大的泰坦在A点，海勃利安恰在外面的a点上。在65日以后，泰坦环绕了4周而海勃利安3周，于是它们又在离上次很近但并不恰好的地方相合了。泰坦将达到B点，而海勃利安到b点。第三次合的地方便在Bb线更上一点，依此例继续下去。实际上这些合的相距比我们能在图上画出的比例还要近的。在19年

中这相合点慢慢经过全圆周，这两颗卫星复相合于 Aa 线上。

这相合点绕着圆周慢慢移动的结果就是海勃利安的轨道，或更正确些说是它的较长的轴，也随着这相合点转，因此在两轨道相离最远的地方永远有合的情形发生。图中虚线就表示海勃利安的轨道怎样在 9 年内绕了半个圈子。

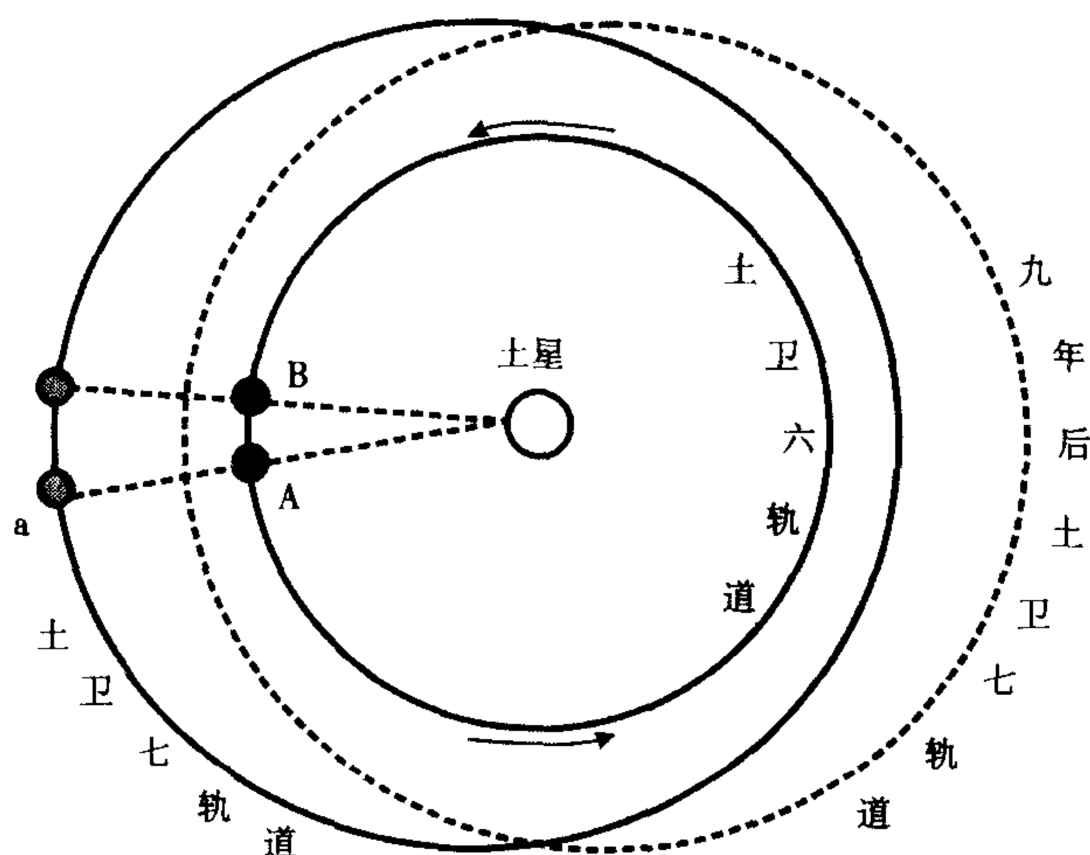


图 34 土卫六与土卫七的轨道及其相互关系

这种作用的有趣的一点就是，据我们所知这在整个太阳系中是独一无二的。不过，就土卫一与土卫三，土卫二与土卫四而言，大概也会有与此类似的交互作用的。

构成这些光环与卫星的物质的交互吸引还有一更惊人的结果！除了最外两颗卫星外，这些物体都恰恰在同一平面上。太阳的吸引如果没有阻碍的话，会在几千年内将这些物体的轨道拉到不相同的平面上去，可是都还对土星轨道平面有同样的倾斜。但是由于它们互相吸引，这些轨道平面都保持在一起，竟好像都紧紧依附着那行星一样。还有值得注意的是最外层卫星绕行星从东往西转，正如同木星的最外层两颗卫星一样。

第八章　天王星及其卫星

按距离太阳的远近算来，天王星是大行星中的第七颗。通常以为这是一颗只会在望远镜中出现的行星，但一个目光敏锐的人也很容易看见天王星而不用什么人工的帮助，只要他准确地知道在什么地方可以寻找到，以便不被那些无数同样的恒星所蒙混。

天王星是1781年经威廉·赫歇耳发现的。他起先以为这只是一颗彗星的核，但仔细观察了它的运动则立刻显示出并非彗星，不久那位发现者就很高兴地确认自己为太阳系添上了一个新成员。他为了感谢他的保护人英王乔治三世（George III），就提议把这颗行星叫做Georgian Sidus，这名字在英国差不多使用了70年。但是不少欧洲大陆的天文学家认为应该以发现者的名字命名，因此常常称之为“赫歇耳”。到了1850年以后，原由波特提出的“天王星”这名字就成为公用的了。

当这颗行星的轨道测定工作开展，它从前所经的路程也可以追画出来时，大家才知道它约在一百多年前就如同前几年一样被观测到并记录了下来了。英国的弗兰斯蒂德（Flamsteed）编制恒星表时，已在1690至1715年之间把它当作恒星记录了5次。更加奇怪的是巴黎天文台的勒莫尼耶（Lemonnier）在两月之内（1768年12月及1769年1月）把它记录了八次。但他从未比较研究自己的观测，直到赫歇耳宣布发现新行星时，勒莫尼耶才知道有一桩多么高价的荣誉在他手中过了10年而他没有得到。

天王星的公转周期是84年，因此它在天空的位置在一年之内没有多少改变。

天王星的距离约比土星加了一倍。依天文单位说是19.2天文单位，依我们日常计算是287 100万千米。

因为它有这样远，所以很难确然看出它表面的特色。在优良的望远镜中它现成一个略带绿色的灰白圆面。

大多数的行星总是围绕着几乎与黄道面垂直的轴线自转，可天王星的轴线却几乎平行于黄道面。像其他所有气态行星一样，天王星也有光环。它们像木星的光环一样暗，但又像土星的光环那样，由直径达 10 米的物体和细小的尘土组成。天王星的光环是 8 大行星中第二个被发现的，这一发现十分重要，由此我们知道了光环是行星的一个普遍特征，而非土星所特有的。

天王星的卫星

已发现的绕天王星旋转的卫星目前共有 27 颗。其中 4 颗比较明显的可以用普通的天文望远镜看到。它们的名字以离天王星远近为序是：Ariel，Umbriel，Titania，Oberon。对天王星的距离从 30.9 万千米到 94.3 万千米。

这些卫星的历史有些特别。除了那两颗较亮的以外，赫歇耳在 1800 年以前以为他有时常瞥见另外 4 颗，因此约过了五十余年之久大家都以为天王星有 6 颗卫星。因为在那些年中还没有一架望远镜能比赫歇耳的更高明。

约在 1845 年，英国的拉塞尔（Lassell）担任制造更大的反射望远镜，于是产出了他的两大望远镜，口径一是 61 厘米，一是 122 厘米。后来他把较大的一架运到马耳他岛（Island of Malta）上去，想在地中海上晴明夜空作观测。在那儿他和他的助手很仔细地考察天王星，得到结论说赫歇耳所假定的候补卫星并不存在。可是另一方面却有了两颗新的，但离天王星非常之近，以前的观测者决不能看见。以后 20 年间，这些新发现物体就被当时欧洲最好的望远镜找来找去，结果找不到，有些天文学家宣布怀疑它们的存在了。但是到了 1873 年冬季，又被华盛顿海军天文台新完成的 66 厘米望远镜发现了，并且证明其运动正和拉塞尔的观测一致。

这些物体的最可注意的特点就是它们的轨道几乎垂直于该行星的轨道。结果，这颗行星轨道上就有相对的两点，在那儿卫星轨道以一条线对着我们。当天王星靠近了这两点之一时，我们就从地球上望见那些卫星仿佛自南而北又自上而下在行星两边纵跳，正像钟摆的摆锤一样。以后这颗行星逐渐前进，这种眼见的轨道也慢慢展开。过 20 年后我们又垂直地看它们了。那时它们的轨道几乎变成了圆形，之后又随着行星的前行而渐渐收缩成一条直线。

第九章 海王星及其卫星

以离太阳远近为序，海王星便继天王星而来。它的大小与质量本和天王星相差不多，但它的距离却是30天文单位（天王星的是19.2天文单位），微弱的太阳光使它更暗淡了许多而更不容易被看见。它是远在肉眼可见限度以下的，但一架中等望远镜可以使它现出来，只要观测者能分别出那些固定于天空的无数亮度相似的恒星。

海王星的圆面只有在很有力的望远镜中才能看出。那时它带有蓝色或铅色，跟天王星的海绿色显然不同。因为在这颗行星圆面上什么标志也看不到，所以它的绕轴自转方式就绝不能由直接观测而得了。用分光仪做的观测显出它的自转周期是15.8小时。

1846年海王星的发现被认为是数学和物理学的最伟大的胜利。当其他任何证据都没有时，它的存在已由它加于天王星的吸引力而被人们知道了。引起这一发现的历史极为有趣，因此我们要简单地叙述一下其中的要点。

海王星发现史

在19世纪最初20年间，巴黎的波伐（Bauvard），著名的数理天文学家，准备制作木星、土星、天王星（当时认为最外层的行星）的运动新表。他根据拉普拉斯的算法得出这些行星的运行轨道由于互相之间的引力作用而产生的误差。他很成功地使他制出的表适合木星、土星的观测所得的运动，但他怎么努力也造不成适合天王星的观测所得的运动的表。如果他只管从赫歇耳以来所做的观测，还可以勉强对付过去，可是绝不符合当这颗行星被认作恒星时弗兰斯蒂德

及勒莫尼耶从前的观测。因此他放弃了旧的观测，把轨道照新观测排好，发表了他的表。但不久就发觉这颗行星又离开了它被算定的位置了，于是天文学家都惊奇地以为其中必有故事。

这种情形一直维持到1845年，这时巴黎的勒威耶福至心灵，忽然想到这误差也许是由于天王星之外的一颗未知行星的吸引。他就开始计算要产生这误差的行星一定在什么轨道中运行，以后把所得结果提交给了法国科学院。这是1846年夏季的事。

恰巧在勒威耶开始工作之前，一个剑桥大学的英国学生亚当斯（John C. Adams）也有同样的想法，也做了同样的工作。他得到结果甚至还在勒威耶之前，也把结果提交英国天文学会。两位计算者都算出了当时未知行星所在的位置，因此如果能将这颗行星从恒星中分出，那就只消在指定区域内寻找就可发现新行星了。但是不幸那时天文学会的艾里（Airy）不大相信这回事，而且不认为这样费事地去寻觅会有可靠的机会。这样一直到勒威耶的预言出来才引起了他的重视，而这两个报告的计算结果之相近也受到了注意。

寻觅新行星的问题现在成立了。剑桥大学的查利斯（Challis）在那一星区中作了很彻底的观测。在这里我必须说明一点：在那个没有计算机、没有光谱分析仪、甚至没有像样的摄像设备的年代，用那种简陋的工具来从周围无数恒星中但凭目视的望远镜来寻找出一颗那样微小的行星并不是件容易的事。而必须先反复确定若干次尽可能的多数星的位置，为的是由比较这些观测才能确定其中是否有一颗移动了位置。

当查利斯正进行这工作时，勒威耶写了一封信给柏林天文台的伽勒，告诉他这颗行星在恒星中的被推定的位置。恰巧那时柏林的天文学家正好完成了一幅部分天空的星图，而该行星就被推定在这部分天空中。因此就在接到信的当天晚间，这些天文学家就拿起星图到望远镜下去，想找找看是否望远镜中有不见于星图中的物体。这物体不久就被发现了，而且把它的位置和周围恒星一比较，仿佛它也有轻微的移动。但伽勒的为人是异常谨慎的，他要等第二晚间来证实他的发现。第二晚发现那颗星已移动了很多，竟丝毫不容置疑了，于是他写信给勒威耶说这颗行星确实存在了。

这新闻传到英国以后，查利斯就去检查自己的观测，发现他实际上已经将这

颗行星观测过两次。不幸他未曾把自己的观测比较研究，以致等到人家在柏林认出之后才知道。天文学家将发现海王星的荣誉给了勒威耶和亚当斯两人。

海王星的卫星

不用说这颗新发现的行星是要被全世界的天文学家所观测了。拉塞尔不久就发现海王星有一颗直径约有 2 700 千米的卫星陪伴着。

这颗卫星离海王星约 35.5 万千米，几乎跟月亮离地球差不多。可是它的公转周期只是 5 天 21 小时，这表示海王星的质量比地球大 17 倍。

这颗卫星自东而西旋转，轨道近圆形，向海王星赤道倾斜 20 度。在约 600 年间，这轨道不改倾斜度，向东方轻移一周。这种退行是由于海王星赤道部分的隆起。关于这退行速度的观测使我们能算出海王星赤道部分隆起的多少，这个量却小得不能从望远镜中所现出的遥远的海王星的小圆面上断然看出的。

同天王星和木星一样，海王星的光环十分暗淡，但它们的内部结构仍是未知数。人们已命名了海王星的光环：最外面的是 Adams，它包括三段明显的圆弧，已分别命名为自由（Liberty），平等（Equality）和互助（Fraternity），其次是一个未命名的包有 Galatea 卫星的弧，然后是 Leverrier，最里面暗淡但很宽阔的叫 Galle。

第十章　曾经的大行星冥王星

海王星的发现，应该说是完全归功于数学和物理学的威力。可是，即使把海王星的引力算上，天王星的行动还是不怎么规矩，甚至连海王星自己的运动也显得有些淘气。

尽管理论计算得出的轨道与观测得到的位置之间的差异已经非常小了——实际上已经小得使许多天文学家认为，如果还有未知行星存在的话那就太不可靠了。如果有新行星存在，搜索和观测起来会变得更困难，因为一则天王星和海王星由于这未知行星引力而造成的运动误差太小，二则新行星在望远镜中也一定是黯淡不明的物体。

在亚利桑那的天文台中的罗尼尔一直在努力想解决这个问题。他计算出了可能存在的海王星外的那颗神秘行星的轨道，以后他和罗尼尔天文台的其他天文学家就开始用望远镜搜寻。这搜寻用的是摄影方法。先对推定新行星存在的一块天空拍摄一些照片，过几天再在同一区内摄取另一些照片与先前拍摄的相比较，用来确定有没有恒星改动了位置。如果有，这就决不是颗恒星，只是行星，如果走运的话，也许就是正寻找着的行星。

遗憾的是，罗尼尔没有等到冥王星发现的那一天。他于 1916 年离开了这个世界。但这搜寻却依然继续不断。其中有过许多次的欢呼和失望，因为有许多在火星和木星之间的小行星让他们误以为是那颗神秘的海外行星——他们在搜寻的过程中曾发现照片上有许多移动的物体，但过些时候又被证明是小行星而不是天文学家努力搜寻的行星。1930 年 1 月间，照片中又出现了一颗移动物体，而且它移动得很慢，按照这速度来看，足够得上比海王星更远的行星的资格。这出现在双子座的 δ 星附近的神秘物体究竟真是所寻找的行星，还是另一颗让人空欢喜一场的小行星呢？时间会告诉我们的。于是，从那天起这物体就在千万里外无数目光

的注视下，一夜接一夜地经受住了热心的守候——它并不加快运动！搜寻完成了，新行星发现了。这发现是在 1930 年 3 月 13 日宣布的，发现者是汤博（C.W. Tombaugh）。

接着就在旧天空照片中仔细寻找新行星发现前的记录。找出了好些幅，一直回溯到 1919 年。这种有价值的记录发现就给了我们计算行星轨道必需的东西：它绕太阳公转的周期是 249 年，而对太阳的平均距离约为地日距离的 39.6 倍。

平均说来，这颗海王星外的行星是在海王星外 14 亿千米。但是它的轨道离圆形还远得很——其曲率比其他任何主要行星都更大——竟切入了海王星的轨道。那么，这两颗遥远的行星有没有碰撞的危险呢？经过计算，答案是绝对没有。因为这颗新行星的轨道非常倾斜，尽管它离太阳有时比海王星更远，有时却更近，但它们两者之间的最小距离却足足有 3.66 亿千米。

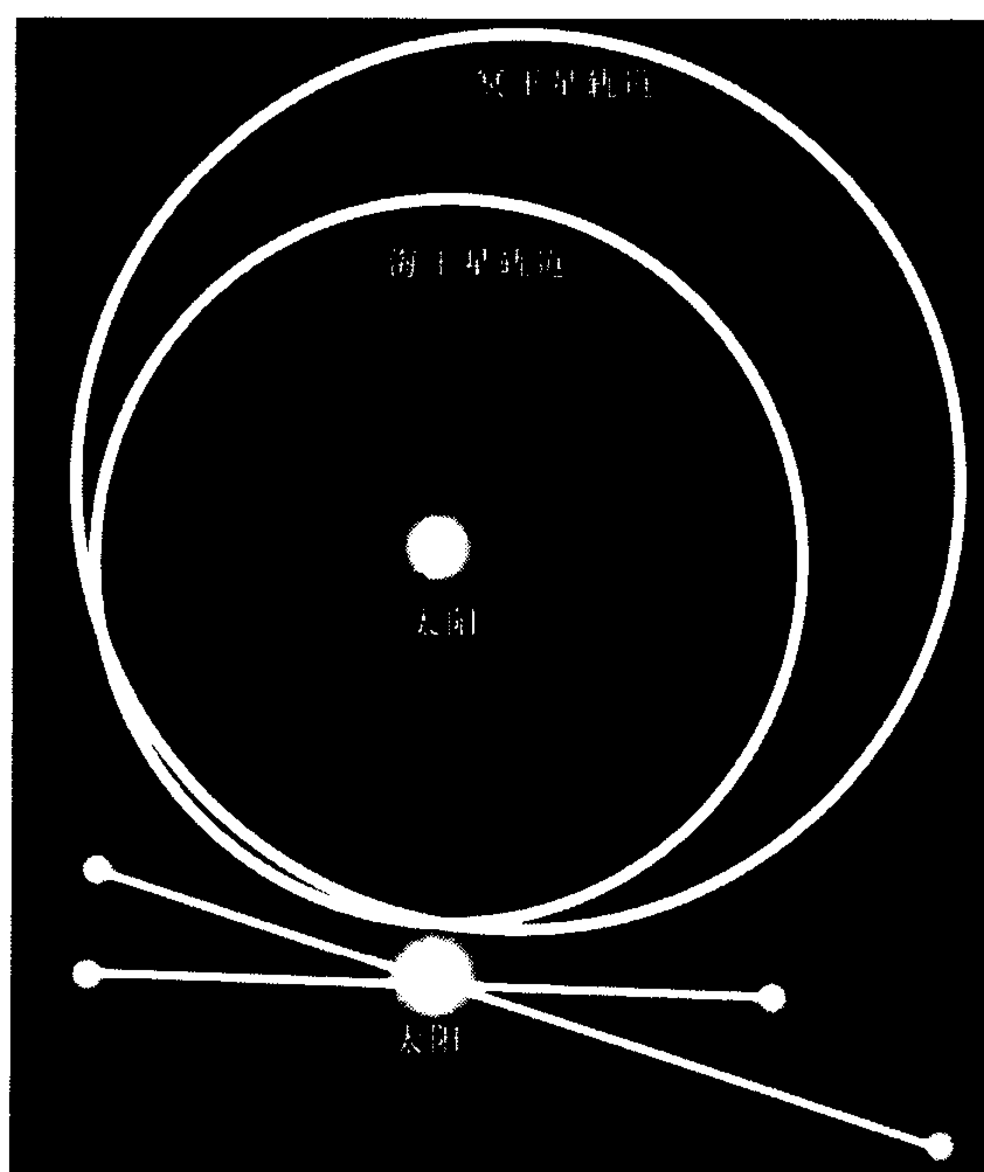


图 35 冥王星的轨迹

新行星定名为冥王星（Pluto），这有两层意义。一则这名字的前两字母 PL 正好是罗尼尔（Percival Lowell）的缩写，罗尼尔是亚利桑那的弗拉斯塔夫的罗尼尔天文台的创立人，这次发现就在那天文台上。二则命名的人以为冥王正是更外面

的黑暗世界的王。但其原意是阴曹地府的王而那儿却不见得特别黑暗。也许最近一个天文学家提出的“海后星”（Amphitrite）更好些，因为那是海王的妻子。“冥王”的名字就可以留给也许还存在的更远的行星了，但这只是小事而已。

可是冥王星自身情形怎样呢？它的大小和质量倒更像地球而不大像它那些近邻的巨人行星。它是只在大望远镜中才可看见的黄色星球，也是唯一一颗还没有太空飞行器访问过的行星。它的表面以及它的大气的详情现在还属未知之列。冥王星可能像海卫一一样是由70%岩石和30%冰水混合而成的，地表上光亮的部分可能覆盖着一些固体氮、少量的固体甲烷和一氧化碳，大气可能主要由氮、一氧化碳及甲烷组成。有一点却是一定的，那儿的温度一定非常低——低得绝不允许生命存在。在冥王星上观察，太阳只是一大光点，光度不过比我们的满月之光大300倍罢了。毫无疑问，那儿绝对不会是生命繁衍的乐土。

可是现在这故事的最有趣的一部分来了。由照片的研究一发现新行星的存在，天文学家就马上开始着手计算它的轨道与大小。结果证明它非常小。那么难道它的存在可以如罗尼尔猜想的引起天王星运动的变化吗？平常人可以猜，但细心的计算却可以给我们一个确定的答案。这种工作的最大部分是由我们的关于这方面的最高权威——耶鲁大学（Yale University）的布朗教授（Prof. Er est W. Brown）担任了的，他的研究给了一个确切的答案。他发现冥王星给天王星的影响很小，小得如他所说“不能像罗尼尔那样由它加于天王星的影响而计算推断出它的存在。”罗尼尔的计算只有理论的趣味了。他的实际的功劳只是用他的私产创立并且辅助了一座天文台，这天文台参加了普通的天体摄影研究，又为了发现新行星而刻意检查拍摄的照片。在他死后好久，这特殊物体才找到了。

虽然，冥王星的发现经过近乎传奇，但是它的大行星的地位只保持了70余年。在2006年8月24日的第26届国际天文学联合会（IAV）上，经投票，否决了冥王星是大行星。这样，太阳系的大行星又减为8颗。不过无论人们如何决定冥王星的地位，都改变不了它运行的轨道和方式。

第十一章　太阳系的比例尺

测定天上距离的方法和工程师测定一些不方便实际到达的东西（例如山峰）的方法是类似的——取可实际到达的 A 点及 B 点为基准以测定遥远而不可到达的第三点 C。工程师在 A 点测定 BC 间所成的角。再到 B 点测定 AC 间所成的角。由于三角形内角和永远等于 180 度，那么从中减去 A 角 B 角之和就可得出 C 角了。我们立刻就可看出 C 角是和基线相对的，正是在 C 点的观测者的所见的 AB 两点的夹角。这角度通常称为“视差”（parallax）。这就是从 A 点看 C 点和从 B 点看 C 点的方向差异。任何一个学习过初等几何的读者看到了这里，都能够很轻易地用他们具有的三角型知识来算出 C 点（我们要测量的遥远星球）相对 AB 两点（显然是我们美丽地球上的两个位置已知的点）的距离。

如果对这个测量方法进行稍微仔细一点的观察和深入思考，我们又可以立刻看出，对于基线 AB 而言，物体的距离愈远，视差就愈小。到一定长距离以外，它就要小得使观测者很难发现其中存在视差了。如果要测量非常遥远的星球，即使用赤道直径作为测量的基准，也会发现 BC 线与 AC 线基本上都指向同样的方向。用视差的方法来测量距离取决于两点：一是基线的长短，二是角度测量的精确程度。

月亮是一切天体中离地球最近的，因此拥有最大的视差。如果以地球赤道半径作为基线，那这角几乎要达到 1 度。因此月亮的距离的测定就可达到最精确的程度。甚至生于公元二三世纪的托勒密（Ptolemy）都能距此测出了大致准确的月

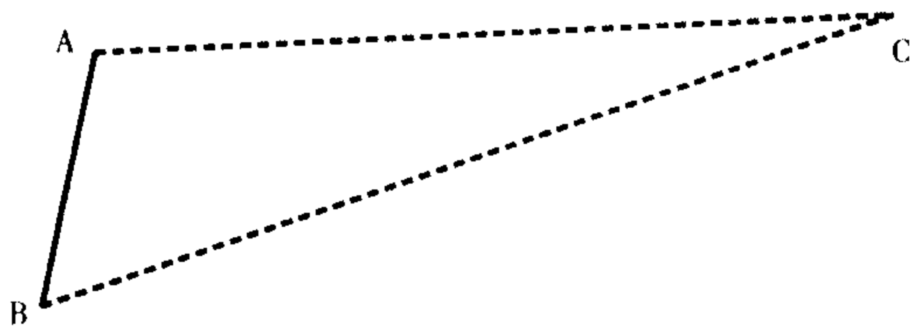


图 36　用三角测量法测出不能准确测得的遥远物体距离

亮距离。但测量太阳及行星的视差就得需要较精良的仪器了。

测量中基线的两端可以是地球上任何二地——譬如说格林威治和好望角两地的天文台。我们曾经提到过的金星凌日发生的时候，一些处在地球上不同位置的天文观测机构发表出金星凌日开始和完成时刻相对他们的方向。于是，通过这一些较多的数据互相印证，人们就可以比较精确地测定出金星或者太阳的距离了。这种测定视差来获得距离的方法叫做“三角测量法”（triangulation）。

为了得出全太阳系的大小，我们只要知道一定时刻任何一行星对我们的距离。所有行星的轨道及运动都由于历代天文学家的努力而非常精确地画成图了，把这幅图放在我们面前就如同摆放了一幅极准确的某国地图，可上面却没有千米数或比例尺。因此他就不能量出图中此点到彼点间的距离，除非知道了比例尺。天文学家所需要的正是这种太阳系图的比例尺。

天文学家要得到的基本单位就是已经说过了的——地球到太阳的平均距离。测量视差决不是测定这距离的唯一的方法。过去还发展了一些其他方法，其中有些同视差的最好的测量同样精确，有的则精确得多呢。

利用光的运动的量度

这些方法中最简单显著的方法之一就是利用光速。当地球在轨道中不同点时，对木星卫星的食所做的观测，使我们知道光经过与地球太阳之间相等的距离需时约 500 秒。这种测定还有一种方法，就是利用星的光行差。这就是说，由于地球及光线的联合运动而产生的星的方向的细微的改变，结果得出光从太阳到地球须历时 498.6 秒。现在我们很清楚光传播的速度，用这个速度乘以 498.6，我们就可得太阳的距离了。按照最新公布的数据，光速是每秒 299 792.458 千米。再用 498.6 乘，我们就得出约有 14 950 万千米，这就是从地球到太阳的距离。

其他度量方法

测定太阳系比例尺的第三种方法就是太阳加在月亮上的引力的量度。这种引力的效应之一便是当月亮进行环绕地球的公转时，在上弦期它约在平均位置之后两分钟多一点，到望月时就赶上又超过，于是在下弦期它又在平均位置之前两分钟了。到朔时它再落后到平均位置上去。这样就有一种荡动与月亮绕地球的运动相谐调。荡动的量恰好与太阳的距离成反比例。因此，量度出这个量就能确定距离了。

第四种方法仍依赖引力。只要我们知道了地球质量与太阳质量间的确切的关系。这就是说，如果我们能够精密测定太阳比地球重多少倍，我们就能够算出地球必须离太阳多么远才会环绕它每年一周。

量度太阳距离的结果

由上述及其他方法就得出了太阳的“地心视差”（geocentric parallax），即由地球中心和赤道一点望到的日出日没时太阳中心方向的改变。这是 8.8 秒强。这一点移差是微小得不能被肉眼看出的，但在望远镜中还是很易见到的角度。因此从太阳上望地球，肉眼看来只是一光点，而望远镜中看来却是小圆盘了。

知道了太阳的视差和赤道部分的地球半径，要算出太阳的平均距离只是很简单的事了。这距离的最可靠的值是 14 960 万千米弱。

以千米数计，太阳到地球的距离似乎大得出奇了。当然这确是不小。以光速或无线电传递速度计，这只是 8 分钟多一点，而最近的恒星距离却已超过 4 光年了。在最近的恒星上看来，太阳只是一颗星，而地球即使用我们最大的望远镜也看不出来了。即使能见到，也必须用最大的望远镜才能把太阳地球分开。这两者之间的距离，在我们看来有这样广大，却只能造成不到一弧秒的角度。

地球到太阳的平均距离就是所谓“天文单位”（astronomical unit）。它就成为太阳系全图的比例尺，我们借此测定其他行星的距离。此外，它还是量度太阳系以外的恒星及其他天体的距离的一根大基线。为了这一点，天文学家曾用各种可能的方法以求把这距离量得极其准确。

第十二章　引力与行星的称量

我们已经知道了一些关于行星环绕太阳运行的情形。但是遵从轨道却并非行星运动的基本定律，行星运动只是受万有引力支配的。引力定律依牛顿说法就是：宇宙间物质的每一质点都吸引着其他质点，其力量正与其间距离的平方成反比例——当然，这个定理后来被爱因斯坦所发展，他将质量和能量统一起来，也就是说，能量也具有引力的效应（具体引力的大小，则可以通过著名的 $E=mc^2$ 将能量等效成质量后计算）。目前为止还没有任何一人所能加于物质的作用可以把物质的引力改变任何一点。两物体互相吸引的力完全相等，不管我们怎样对付它们；不管我们在它们中间施加了什么障碍；不管我们使它们的间隔变得多遥远；也不管它们的运动有多么迅速——两者之间的引力总是相等的。

行星的运动是受它们之间引力支配的。即使只有一颗行星环绕太阳，它也一定会继续绕转下去，而且这只是为了太阳的吸引的力量。用纯粹数学的计算可以知道这样一颗行星必绕成椭圆形的轨道，以太阳为一焦点。它一定要沿这条椭圆轨道一直永远旋转下去——这事实最先由开普勒在 17 世纪观测到（实际上用的是第谷的观测资料），并且在很久之后被牛顿用他威力无比的万有引力定律证明了。同样，依照定律，这些行星又必须互相吸引。这种引力比起来自太阳的强大引力来说差得太多了，因为我们太阳系中的行星质量比起那中央物体来要小得多。这种互相吸引的结果就是使行星渐渐偏离了椭圆轨道。它们的轨道与椭圆形确乎非常相近，但是并非丝毫不差。而且这颗行星运动的问题又是一场纯数学的表演。从牛顿以来这问题就吸引了世界上最能干的数学家们，每一代都研究并修补前代的工作。牛顿之后一百年，拉普拉斯与拉格朗日（Lagrange）发表了对于行星椭圆轨道的形式位置变动的更完善的解释。这些变动可以在几千年几万年甚至几十万年以前预算出来。因此我们知道地球绕太阳轨道的偏心率现在正在缩减中，而且

还要缩减下去约4万年。以后又再增加，以致再过几万年后要比现在的更大起来。其他行星也有同样情形。它们的轨道也在数万年中往复改变形状，正所谓"永恒的大钟计算年代如同我们计算秒一样。"假如不是数理天文学家预言现在的行星运动有惊人的准确，读者也许很有理由怀疑这对将来千万年预言的正确性了。这种准确的得来是由于测定每一行星加在其他行星运动的影响。我们要预算这些物体的运动，不妨先假定它们都在固定的椭圆轨道中绕太阳旋转（这是如果没有其他行星吸引时的情形）。我们那时的预言就常常出错，差错的程度约为几分之一度——也许在长时间以后还要更大。

但是将所有其他行星的吸引加上以后，这种预言的准确竟使得现代最精密的天文观测也几乎不能显出可察觉的误差了。前面说过的海王星的发现史就供给我们一个所有关于这种预言的可靠性的最惊人的例证。

如何称量行星

我现在要努力告诉读者一点数理天文学家得到上述结果的情形了。他当然一定要知道每一行星加在其他行星上的吸引力，这是与施加引力的行星的质量成正比例的。因此我们可以说，当天文学家测定行星质量时，他是把行星称了一下。他做这件事正和屠夫在弹簧秤上称牛腿用的是同一原理。当屠夫提起牛腿时，他感到牛腿向地球去的拉的力量。当他把牛腿挂上钩时，这拉力就从他的手上移到秤的弹簧上去了。这拉力愈大，弹簧也拉下愈多。他在标尺上看出的数目正表示这拉力。你们知道这拉力只是地球加在牛腿上的吸引。但按照力的一般定律说，牛腿吸引地球跟地球吸引牛腿的力恰好相等。所以这屠夫实际上做的事只是去发现牛腿吸引地球的力有多么强，而他把这吸引的力叫做牛腿的重量。应用这同一原理，天文学家发现一物体的重量的方法，也就是去发现它加在别一物体上的吸引力。

把这原理应用在天体上的时候，我们立刻就遇到一件似乎不可超越的困难——我们决不能跳上天体去称量它们。那么我们如何能测出它的吸引力呢？我在回答这问题之前，必须更准确地解释一下一件物体的"重量"与"质量"的分别。物体的重量在全世界各地是不相等的。在纽约称来15千克重的东西，到格陵

兰（Greenland）的弹簧秤上要多出 0.03 千克来，而到赤道上又差不多要少去 0.03 千克。这是因为地球并非完善的球体，却有些偏扁，而且也因为它在旋转着的缘故。因此重量就随地域而不同了。如果把一只 15 千克重的牛腿拿到月亮上去称量的话，那拉力的力量就只有 2.5 千克了，因为月亮比地球要更小更轻。但是放在月亮上的那块肉和在地球上时是一样多的。到火星上又有一重量，到太阳上又有一重量（那儿差不多要变成 400 千克）。因此，天文学家不说一颗行星的重量，因为重量是随称量的地方而不同的。他却只说一颗行星的质量，这意思是那行星有多少物质，不管你在什么地方称它——所谓质量，不就是“物质的量”么？

现在再说到行星。我已经说过一天体的质量可以由它与另一个天体之间的引力来测定出来。测量行星之间的引力有两种方法，一是测出它加在邻近行星上使它们偏离独行时应有轨道的吸引力。量出那误差，我们就可测定吸引的力，由此得出该行星的质量。

读者会立刻明白，这样得出结果所必需的数学计算是非常精细而且复杂的。对于那些有卫星围绕的行星却可以有更简单得多的方法，因为那行星的吸引力可以从卫星的运动上测定。牛顿第一定律告诉我们，一运动物体如无其他力加以作用，一定沿直线运动并且保持速度不变。因此，如果我们看见一物体沿曲线运动，我们就知道一定有其他力加以作用，而这力的作用方向就是曲线曲向的方向。一个生活中的例证就是手中抛出去的石头。假如石头不被地球吸引，就要沿抛出的路线一直进行，完全脱离地球。但在地球的吸引下，它一面前进一面被拉下去，直到“砰”的一声砸在地上。这石头抛出得愈快，当然就走得愈远。如果是一颗子弹，它的前一部分曲线几乎要成为直线了。又如果我们从高山顶上水平地放一枚炮弹出去，速度每秒 8 千米而又不遭空气的阻碍，它的路径的曲度一定和地球表面一致，因此这炮弹永不能达到地面，却绕着地球转，像在自己轨道中运行的小卫星一样。这件事如果办成功了，天文学家知道这炮弹速度后就能算出地球的吸引力。月亮是一颗卫星，它的运动正像那炮弹一样，（附注：事实上，卫星的运行情况只和主星的质量有关，而与卫星质量无关。具体推导如下：向心力与引力相当，即 $mv^2/r=GMm/r^2$、这里 M、m 分别为主星、卫星的质量，v 为卫星速率，r 为卫星轨道半径。于是，$v^2=GM/r$，与 m 无关。）一位在火星上的观测者也能在量出月亮的轨道后测定地球的吸引力，正如同我们从实际观测我们周围落下的物

体来测定它一样。

于是，对于一颗像火星或木星一样有卫星环绕的行星，地球上的观测者就可从它加在卫星上的吸引力而测定它的质量。这计算法则是非常简单的。行星与卫星间距离的立方用公转周期的平方去除，商数就与行星质量成比例。这条定则可以应用在绕地球的月亮运动和绕太阳的行星运动上——事实上，我们可以将这个规则运用在宏观世界中任何由引力引起的圆周运动上。如果我们用地球到太阳的距离 1.5 亿千米的立方除以一年的天数 365.25 的平方，就可得出一商数。我们姑且把它叫做太阳商数。如果我们用月亮到地球距离的立方除以月亮公转周期的平方，又可得另一商数，我们可以叫它地球商数。太阳商数约比地球商数大出 33 万倍。因此就得结论：太阳质量一定比地球质量大 33 万倍——要这么多地球才能造成一个太阳那么重的物体。

我说这算法只是为了表明这条原理，但决不要认为天文学家正是如此休闲地工作。在月亮与地球的情形中，月亮的距离受太阳吸引的影响而变动，因此它们的实际距离并非是恒定不变的。因此被天文学家实际使用的找出地球吸引力的方法是观测在不同纬度上周期为一秒的钟摆的长短。然后用非常精致的数学方法，就可以精确地发现离地球某特定远近的小卫星的旋转周期，由此得出地球商数。

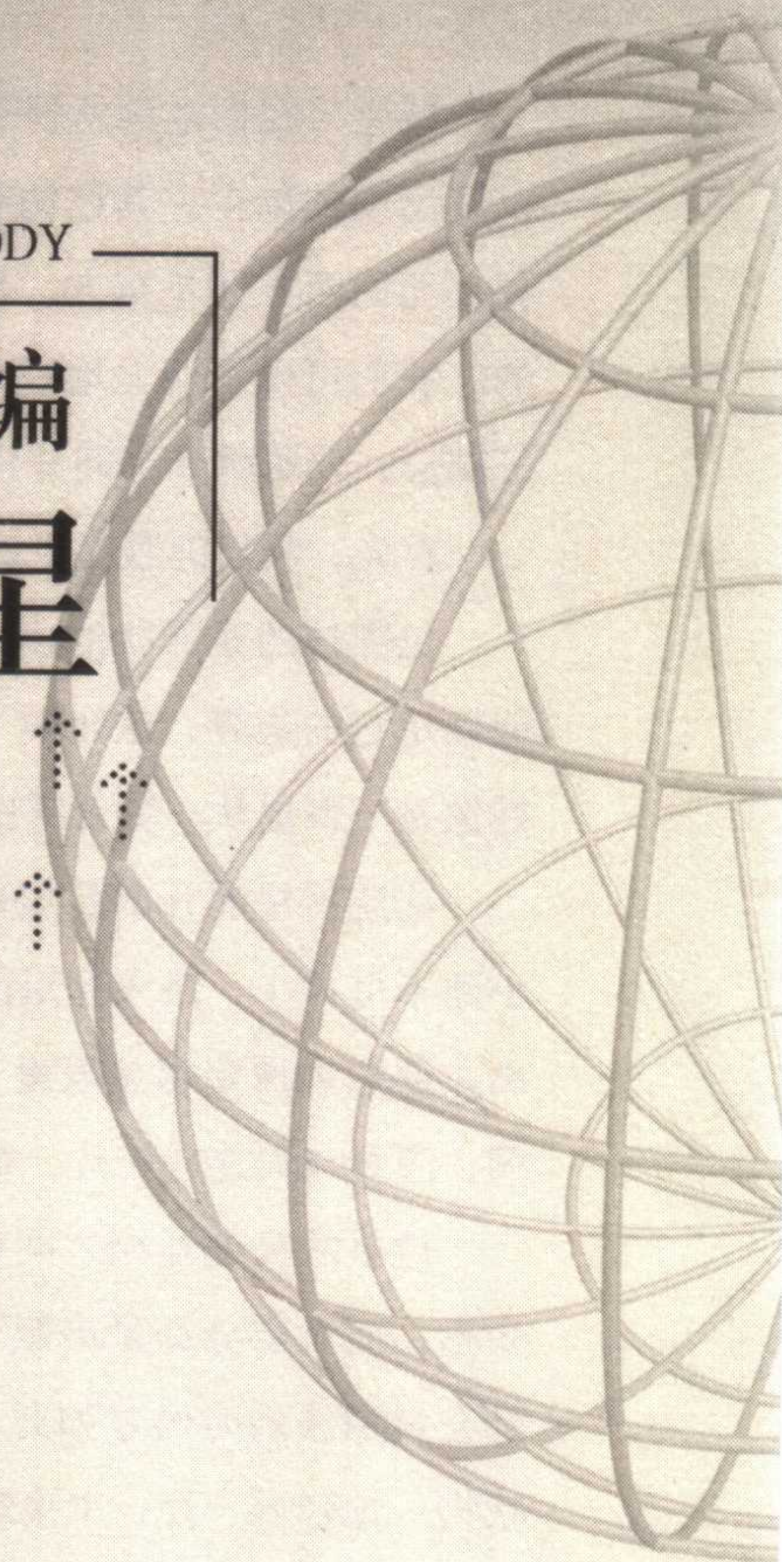
但是我说过我们必须由卫星来找出别的行星的商数的，幸而其他卫星的运动受太阳吸引的改变比月亮小得多。这样，当我们计算火星的外层卫星时，我们发现火星商数是太阳商数的 1/3 085 000。由此我们断定的火星的质量就是太阳质量的 1/3 085 000 了。同样发现了木星质量是太阳的 1/1 047；土星是 1/3 500；天王星是 1/22 700；而海王星则是 1/19 400。

我所说的只是天文学家解决这问题的大原则。他的工作的基础只是万有引力定律。这定律由三百多年的数学推演才达到今日的境地。不过，现代的科学家比起 100 多年前的先辈来，要幸运得多。他们拥有了威力巨大的工具——计算机。现代计算技术的发展，得以让科学家们的工作更方便地展开。他们事先编制好一些规则，然后将观测到的精密数据输入到计算机里。让计算机按照预定的程序来计算，这样就可以大大地减少人工的计算量。但是，真正伟大的发现，却还是依赖伟大科学家的直觉和无比辛勤的工作。

ASTRONOMY FOR EVERYBODY

第五编

彗星与流星



第一章 彗星

彗星与我们以前所研究的天体的差异在于其特殊的形状、偏心率巨大的轨道以及出现的稀少。其结构和本质的问题在人类历史上的很长一段时期显得相当神秘，无论西方还是东方，都对这类天体的出现抱有极大的兴趣。一颗在地球附近的，我们可以很明显地观测到的彗星（更科学的说法是在太阳附近的彗星）可分三部分，但每部分之间并没有明显的界限，而是互相连合成一气的。

首先，我们肉眼所见的是一颗星状物，这叫做彗星的核。

包围核的是云状的模糊一块，正像一团雾，渐渐地一直淡到边上，我们竟不能确定它的边界，这叫做“彗发”（coma)。核与发在一起合称彗星的头部，看来好像是一颗星从一块云雾中发光一般。

从这彗星展开的是尾部，它的长短几乎是各色各样都有。小彗星的尾部可以小到不可再小，最大彗星的却可以占据天穹的大部。接近彗星头部的地方窄而亮，离头部愈远便愈宽愈散漫，因此它是多少带有扇形的。到末尾时它消隐得非常模糊，简直与天连成一片，很难说眼睛究竟可以追踪到什么地方。

彗星的亮度互相之间有极大的不同，且不论其中较亮的可以拥有特别夺目的光彩，而大部分却是肉眼看不见的。有时一颗小彗星竟没有可见的尾部，这却只是在最黯淡的时候才如此。有时却又几乎完全没有核，所有能见的只是一小团雾状物，像轻云一片，中央略微亮些。

从历史记载中看来，一百年中肉眼可见的彗星约有20至30颗。但用一架望远镜搜索天空时，却发现这种物体多得出乎意外。每年都有勤劳的观测者发现一大批。无疑，这数目大半依靠机会以及搜索的技术。有时一颗彗星被几位观测者各不相谋地发现。这时如果谁第一个定出彗星的正确位置并告知天文台，谁就是这颗彗星的发现者。

给彗星起名也有一定的规则。因为彗星的出现往往是随机的，即使是周期彗星，周期一般也都很长。那么最早发现彗星的人的名字就可定为是这颗彗星的名。并在发现者名字前加上公历年份，并依照这一年发现彗星的先后次序加上拉丁字母 a、b、c……但也有以发现者自己命名的。

彗星的轨道

在望远镜发明后不久，人们就发现彗星也和行星相似，是循着环绕太阳的轨道运行的。牛顿爵士证明它们的运动也正和行星运动一样受太阳的引力支配。其间的最大不同是它们并不像行星一样有近似圆形的轨道，它们的轨道却延展得大半都不能测定其远日点。我们下面要对彗星轨道的性质和支配它们的定律略加解释。

牛顿证明一切在太阳引力作用影响下运动的物体都永远画出圆锥曲线。这曲线有三种：椭圆、抛物线、双曲线。第一种是人所共知的首尾相连的曲线。抛物

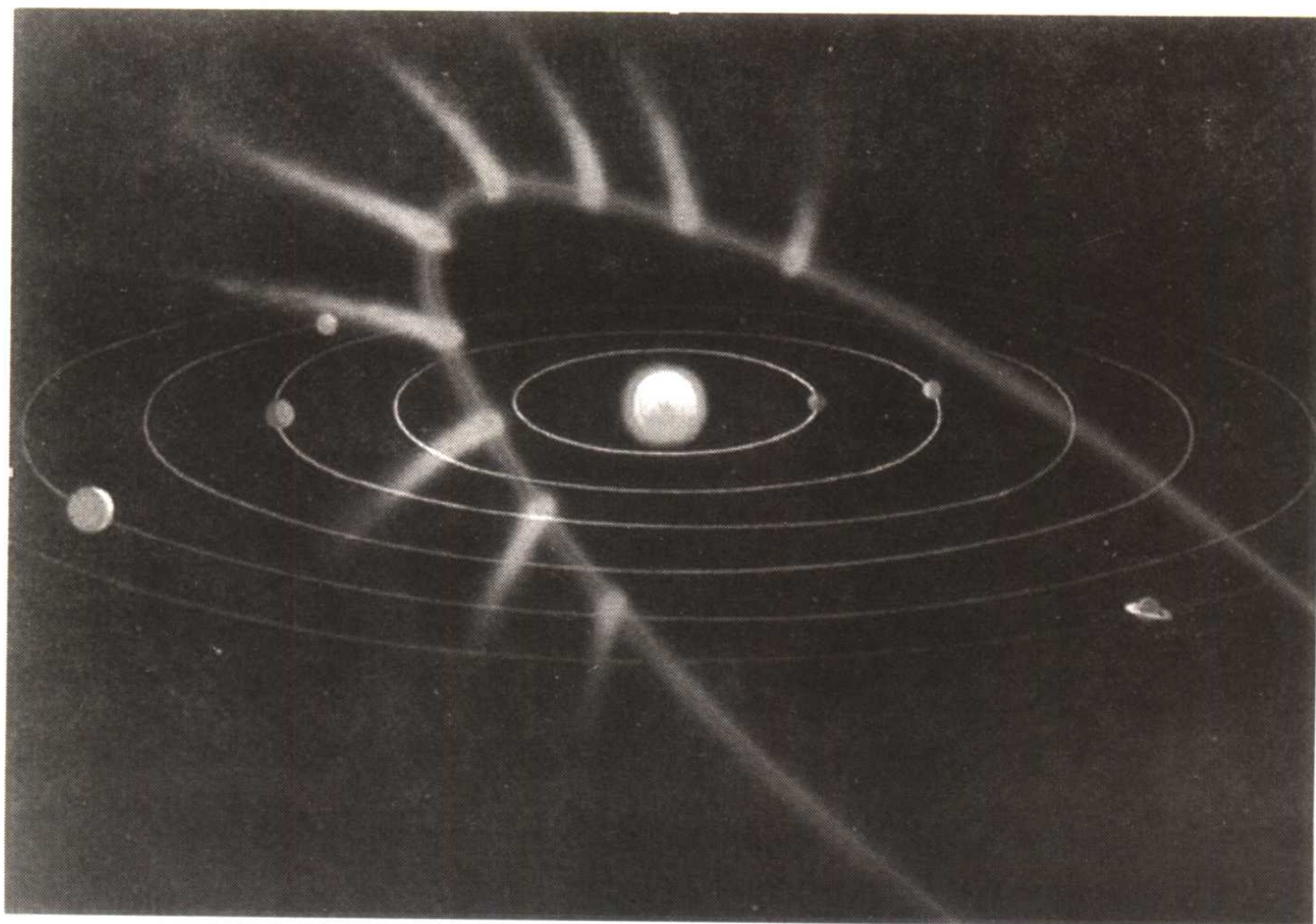


图 37　彗星的抛物线轨道

线和双曲线却并不如此，它们都有两个分支远远延长出去。抛物线的这两个分支在更远处可以说差不多伸展向同一个方向，但双曲线的两支却永远相离。

（附注：圆锥曲线的概念是公元前 4 世纪的希腊数学家密勒克姆第一个得到的。平面与圆锥任意相交时可能得到三条曲线。这时，如果移动的平面不平行于任意一条圆锥的母线，那么得到的截线是椭圆；如果移动的平面平行于圆锥的一条母线，那么截线是抛物线；如果平面穿过两个腔，所得到的截线就是双曲线。）

能理解了这三种曲线的意义之后，我们来做一个思维试验。我们假想我们现在被固定在地球轨道上的某一个点上。由于太空中太过寂寞，我们便开枪来消遣时光，使我们的枪弹也像小型行星一样环绕太阳。所有我们放出的子弹中，凡是速度在地球以下的，便是说每秒速度不到 29.8 千米的，都要绕太阳沿自身回归却比地球轨道小的路线运行，并不管我们对什么方向放射去。这中间还有一条很简单且很奇特的规律，即凡是速度相同的，轨道的周期也必相同。所有用和地球相等速度放射出去的枪弹都要一年环绕一周，而且在同时齐集于它们的出发点。如果速度超出了每秒 29.8 千米，轨道就比地球的大，而且速度愈高，公转周期愈长。速度超出了约每秒 41.8 千米，太阳的吸引便收不住它，而这枪弹便要沿着双曲线的一端而一去永不回了。不管我们对什么方向开枪都会发生这种情形的。因此在离太阳一定远近的地方便有一定的速度限制，只要速度超出了这限制，彗星便要离开太阳不再回来了；而如果不到这限制，它还是一定会被引力拉回来的。

离太阳愈近，这种速度的限制就愈大。它是和到太阳距离的平方根成反比例的，因此远了 4 倍便只有原先的一半了。发现空间中任何点的速度限制的定则是极简单的，这便是取行星的圆形轨道中经过这点的速度再乘以 2 的平方根 1.414。

因此如果天文学家能从观测中发现一颗彗星经其轨道中一已知点时的速度，他便可以据此测定出这颗彗星远日点的距离和它的回归周期了。把这彗星在其可见期中所观测到的数据仔细地研究一下，便大致可以得到这个问题比较精确的结论。

事实上，我们还没有发现任何一颗彗星的速度确然超出了上述限制。值得注意的是，有些观测中得到的速度的确有些微的超出太阳引力所允许的速度，但这超出的部分却都在观测时可能存在的误差范围内。大半速度都和限制非常接近，竟很难说清楚这速度究竟在这结局完全不同的分水岭的哪一侧。因此这彗星便无疑的要飞到遥远的太阳系边缘，要过几百年、几千年甚至几万年才能回头。有的

彗星的速度却又比限制值低了很多。这一类彗星的公转周期较短，因此称为“周期彗星”（periodic comets）。

依我们所知说来，大部分彗星的运动的历史都属这一类。在我们看来，彗星是由挥发性元素在太阳系边缘凝聚而成的，它们好像是天文时间的存放器，保存着太阳星云早期的有关信息。如果一颗彗星对准了太阳飞去，它便要落进太阳去的，但这情形不但到现在未见发生，而且依我们下面说的理由也决不会有希望发生的。彗星愈接近太阳，速度愈快，循更大的曲线绕中央物体旋转，再依由此而生的离心力飞开来，返回的方向差不多和来的方向相同。

因为这种物体黯弱无光，即使在望远镜中也只有当它在轨道中近太阳部分才可看见。这便是难以测定彗星周期，尤其是那些速度特别快，回归周期特别长的彗星的准确周期的原因了。

哈雷彗星

这些物体中第一颗被发现依规则周期而回归的是天文学史上著名的哈雷彗星（Halley's comet）。这颗彗星出现于 1682 年 8 月，约过了一个月方才隐没。哈雷竟能根据观测所得计算出轨道要素。他发现这正和开普勒在 1607 年所观测到的一颗明亮的彗星的轨道特色相合。

两颗彗星会恰好在同一轨道中运行看来是绝不会有的事。因此哈雷断定，这真实的轨道必为椭圆，而这彗星定有约 76 年的周期。如果真是这样，它一定会每隔 76 年出现一次。

于是他从许多年代中减去这周期，看是否有彗星出现的记载。从 1607 减去 76 得 1531，他发现确有一颗彗星出现于 1531 年，他也很有理由认为这是那同一轨道中的彗星。再从这一年推上约 76 年，便是 1456 年。1456 年果然又有一颗彗星出现，并且这颗彗星曾使基督教国家恐惧，以致教皇加利斯都三世（Calixtus III）下令祈祷避灾，一则抵制这颗彗星，二则抵制正向欧洲进攻的土耳其人。那“教皇下谕制彗星”的传说大约即指此事。

更古的历史中还可发现这颗彗星的可能的出现，但哈雷不能证实确是这颗彗

星，因为缺乏详密的记载。但这 4 次观察详细的年份，1456、1531、1607、1682，却使人很有根据推测这彗星在 1758 年还要回到太阳这边来。当时法国最优秀的数学家克莱罗（Clairaut）又算出了木星与土星的引力对这颗彗星轨道的影响。他发现这种影响要使这颗彗星延迟到 1759 年春季才能返回近日点。它果然依这预言出现而且确实在那年 3 月 12 日经过近日点。



图 38 1986 年的哈雷彗星

哈雷彗星再次经过近日点在 1835 年 11 月，再下一次在 1910 年 4 月。这次回归的景象颇为壮观：4 月 20 日过近日点时彗尾已亮得肉眼可见，5 月初便在黎明前东天中呈露耀目的光彩，过近地点时彗尾长达 125~150 度。5 月 19 日这颗彗星恰从地球太阳之间经过，又过两天它的尾部便掠过地球，由于那时它距离地球只有 2 500 万千米，故有人担心完全被彗尾笼罩的地球生物会全部死亡。其实彗尾非常稀薄，而地球未发生任何异状。约到 7 月间哈雷彗星已退行极远，望远镜中也看不见了。不过，它横扫天际的景象着实使当时的人们心惊肉跳。哈雷彗星在 1986 年又回到近日点，这颗著名的彗星再次成为肉眼所见的奇观。它下一次返回内层太阳系的时间是 2061 年。

消失不见的彗星

1770 年 6 月法国天文学家勒格泽耳（Lexell）发现了一颗有特殊趣味的彗星。这颗星不久就可被肉眼看见了。它在一椭圆轨道中运行，周期只有约 6 年。因此大家便

深信不疑它的回归的预言了，可是它却绝未再现。很快就发现了原因所在。当它6年后回归的时候，正好在太阳那一边，所以看不见它。再过去继续公转时，它必须正从木星邻近经过，而木星的有力的吸引使它改了新轨道，于是再也回不到望远镜能及的范围以内了。这也便解释了何以从前也未曾见过它。在勒格泽耳发现它以前，它也正从木星附近经过，木星把它投入了与前不同的轨道。就这样，我们系统中的这巨人行星简直可以说是先把这彗星在1767年拉过来，使它到太阳附近，让它绕太阳转两个圈子，又在1779年它来到旁边的时候再重新给它一推，一推就不知推向何处去了。从此以后，竟有二三十颗彗星都明知是有周期的，却大半只观测到两三次回归。

彗星是可以解散和衰亡的。比拉彗星（Biela's comet）便是显然完全解散的一颗。这颗彗星在1772年第一次被观测到，但并不知其为周期彗星。1805年它又出现，天文学家还是没有注意它的轨道正是1772年的那颗。1826年第三次发现它，这时用更先进的方法测算轨道，才把它和以前两次的认定为同一颗。公转周期已定为6.67年。因此测算出它必定在1832年及1839年再出现。但这两次地球都不在一个可以看见它的位置上。到1845年年终它又重新出现，在11月、12月中又观测了它。到1846年1月它靠近了地球和太阳，才发现它已分成两半。起先其中较小的部分非常黯淡，后来光度渐增终至与另一部分相等。

比拉彗星下一次回归是在1852年。这两部分比前分离得更远了。在1846年相隔约为32万千米，在1852年已超过160万千米了。最后一次观测在1852年9月。虽然从此以后还要回来七八次，却再也没有看见。根据以前的回归，我们可以很准确地算出它再现的位置，而由它的不出现，我们也可以认为它是完全解散了。下一章中我们再略微研究构成它的物质。

有两三颗彗星都是按同样情形消失不见的。它们都只被观测了一次或一次以上的回归，每次都更黯淡稀薄，最后完全消失不见。

恩克彗星

周期彗星中被观测得最频繁且最有规律的一颗是被称为恩克的彗星（Encke's comet），这是第一个准确测定其运动的德国天文学家的名字。它在1786年被发现，

但是它的轨道却没有立刻测定（这是常有的情形）。第二次回归是在 1795 年被卡罗琳·赫歇耳女士（Miss Caroline Herschel）发现。1805 年及 1818 年又重新被发现了两次。只在后一次才测定它的准确轨道，于是经过计算才建立起它的周期性并且与此前的观测合一。

这时恩克才发现它的周期约是 3 年又 110 天，由于行星（尤其是木星）的吸引而略有变动。后来差不多它每次回归都有地方观测到它。

这颗彗星著名的特点是它的轨道在若干年内不断地减小，一直到后来它到太阳的平均距离减少了四十多万千米。从恩克彗星不大的远日距推测，它可能已存在好几千年了。另外，从它的外表来看，发尾皆无，已是一副老态龙钟的样子。

1984 年 4 月，环绕金星运行的空间探测器发现当时位于地球和金星之间的恩克彗星正在散发大量的水蒸气，失水的速率比原来估计的要高出 3 倍。一些人认为恩克彗星不会存在很久了，马上要寿终正寝了。但其他人却不这样认为，他们说，虽然恩克彗星的视亮度在不断变暗，但它的真亮度近一百年来并没有明显的变化。而且，它最近几次回归时抛出的物质也不见少，全然没有“油干灯灭”的迹象。

而每年 11 月 20 日至 23 日的金牛座流星雨，正是恩克彗星所赐。

木星捕捉彗星

1886 到 1889 年出了一桩可注意的事，一颗新彗星加入太阳系了。在后一年中布鲁克斯（Brooks）观测到了一颗彗星，证明它的轨道周期只有 7 年。因为这颗彗星很亮，便发生了为什么以前没有观测到的疑问。这问题不久便有了答案，发现了在 1886 年这颗彗星曾从木星附近经过。木星的吸引竟大到改变了它的轨道并使它沿现今的新轨道运行了。还有些周期彗星离木星很近，它们也大概是同样被木星捕捉了的。

于是又有了问题：是不是所有短周期彗星都真是这种来历？这问题必得一个否定的答案，因为哈雷彗星就不接近任何行星。恩克彗星也是如此，它并不接近木星到能被木星吸引成现在的轨道的地步，不过当它的轨道原先较大时，却也许会有这种事的。

1994 年 6 月，苏梅克-列维 9 号彗星不但被木星捕捉住了，而且与之发生了亲密接触，堪为近年来最重大的天文事件之一。这颗彗星由 Eugene，Carolyn Shoemaker，David Levy 于 1993 年发现。在它被发现后不多久，人们就测定出它运行的路径靠近木星，呈高度椭圆状，并且处于将发生碰撞的路线之中。

分析得知，苏梅克-列维 9 号彗星早在 1992 年与木星擦肩而过时，已分裂成至少 21 片碎片，这些碎片分散在其几百万千米的轨道沿线。原彗星及个别碎片的体积和质量依然不得而知，估计原彗星体的直径为 2~10 千米，最大的碎片为 1~3 千米。

1994 年 6 月 16 日至 22 日期间，彗星碎片朝木星大气层的外部冲击而来。这是有史以来第一次人们有机会目击地球外的两天体的碰撞。事实上，这次碰撞为每一架大型基地天文望远镜、几千架小型业余望远镜及几艘宇宙飞行器包括哈勃天文望远镜和“伽利略”号所观察。而在碰撞后几小时之内，图片便被传送到网上，并在 ftp 和 www 站点引起严重的网络堵塞。

彗星的来历

不久以前大家都还假定彗星是从恒星间的广漠的空间中来到太阳系里的。这种见解现在算是已经完全被撇开了，因为事实上还没有证明哪一颗彗星的速度超过了一个界限，它们的速度允许它们由最远的行星轨道之外飞来，但这距离虽大，却还远不及恒星的距离的。我们此后还要看到太阳自身也是在空间之中运行的。即使我们承认彗星是从太阳系之外的远方来的，上述的事实也证明，它们即便是在太阳系之外时也是随着太阳系一同在空间中运行的。

根据对整个问题的研究，现在似乎已经成立了的见解，便是认为这些物体都有规则的轨道，和行星不同之处只在其轨道的偏心率太大。它们的公转周期往往是数千年，数万年，甚至于数十万年。在这中间，它们飞越了行星边界之外很远很远。如果在它们回到太阳附近时碰巧接近了一颗行星，便有两件事可以发生：或者这颗彗星被引力弹弓推了一下，因而加快速度飞向比前更远的距离去或甚至远得不能再回来，或者它的速度减低因而轨道缩小。因此我们才有这些周期不同的彗星。我们于是得到结论，认为我们所见的彗星现在都是太阳系的一员了。还

有人提出一种意见，而且那也并非不可能，便是说我们这些彗星的来源是当遥远的古代太阳从宇宙尘云（暗星云）中经过时获得的。

荷兰天文学家奥特在 1950 年提出了一个有名的假设：在太阳周围存在着一个巨大星云团（Oort Cloud），它是一个彗星库，里边有上亿个很小的固体状彗星核。在过往恒星的引力作用下，奥特星云就向太阳系内部馈射彗星。根据目前掌握的资料来看，没有任何彗星的轨道是明显地来自太阳系之外。这个事实也说明了彗星不大可能来自星际空间。奥特的假说虽然为很多天文学家所接受，但这个假说是否完全正确，目前还不得而知。

明亮的彗星

有时出现的非常明亮的彗星是任何见到的人所最感兴趣的。就我们的知识而言，它们何时出现还完全看运气。所谓大彗星在 19 世纪中只出现了五六颗。其中最可注意而且最明亮的出现于 1858 年，名字便是它的发现者意大利天文学家杜那底（Donati）。它的发现史便足以表示此类物体的变化。6 月 2 日第一次见到它时还只是望远镜中能见的很黯的星云，正像天上的一小片白云。那时既不见尾部，也毫无征兆可以知道它将变化到什么程度。这样直到 8 月中旬，那时才渐生尾部。9 月上旬肉眼便可看见了。此后它便以惊人的速度增长，每夜更大更亮。在一月以内几乎不见它太大的移动，每夜只在西天游荡。约在 10 月 10 日达到亮度的极限。其时由哈佛天文台的邦德（G.P.Bond）给它绘图。我们有两幅显示其头部的情形，一是肉眼所见，一是望远镜所见。10 月 10 日以后它又很快消逝下去。不久便向南移动逃到我们的地平线下，由许多观测者到南半球去追踪直到 1859 年 3 月。

在这彗星消失在视野内之前便已有人开始计算其轨道了。不久便发现它并不是沿着标准的抛物线运行，却是一道延长的椭圆。周期约为 1900 年左右，不过也许有上下 100 年之差。因此它在上一次回归时应能被看见，但公元前 1 世纪中并无记载可以核定。下一次则要等到 38 或 39 世纪了。

还有一桩可注意的情形是 1843 年、1880 年、1882 年的彗星差不多是在同一轨道中运行的，其中的第一颗是记录中最值得回忆的一颗。它离太阳近得竟要擦

着太阳的边——事实上它已经过了日冕的外层。约在 2 月末它极快地在太阳附近出现，白昼中也可见到它。更奇怪的是它凑巧出现在一个预言之后不久，那预言说世界末日将于 1843 年来到。受到这预言警告的便把这颗彗星看作即将降临的大祸的征兆了。

这彗星在 4 月中即已消失不见，因此它的观测时间是比较短的。它的公转周期于是成了很吸引人的问题。但我们发现它的轨道还与抛物线没有太显著的差别。不过因为观测时间太短，以致任何对周期的臆测都有些不可靠了。我们能说的只是它下次回来至少要在若干世纪以后。

然而 37 年以后却有观测者在南半球发现了一颗彗星，几乎与前者正在同一轨道中运行，于是不能不使人大大吃惊了。它出现的第一个信号便是它的长尾从地平线上露了出来。那时在阿根廷，在好望角，在澳大利亚都看见了。直到 2 月 4 日才见到头部。它绕过太阳再往南去，未被北半球的人看见就消失不见了。

于是生出了一个问题：这难道就是 1843 年的那颗彗星吗？从前大家假定两颗这种物体在同一轨道中相隔一长时期出现一定便是一颗。但在这一情形中那假定似乎与观测的事实不相符合了。这问题到 1882 年才确定，因为又有第三颗彗星出现，轨道也差不多相同。这无论如何不会是仅仅两年多以前出现的那颗彗星了。于是有了一桩可观的景象：三颗明亮的彗星在同一轨道中依不同周期运行。这一群的彗星中我们还要加入 1668 年和 1887 年的两颗。

大概这些都是一颗大彗星在近日点时被太阳引力撕成的五部分。其中之一，1882 年 9 月的大彗星的核在经过近日点之后不久后又碎为四部分了。这四部分相隔各约一世纪，周期由 660 年至 960 年，回来时将是四颗不相连属的彗星了。

彗星的本质

看起来彗星的核是冰、气体、小部分灰尘和其他固体物质的集合，其中大小相差悬殊，有砂粒也有像天上落下的陨石那样的大块。那么剩下的问题就只是何以经过彗星的这许多次回归后它们还能聚在一起了。彗星头部离太阳较近时常常改变形状也足以证明上述假说较近真理。

对这些彗星进行分光后的光谱很明显地表示出它并不仅仅是反射太阳光。其中主要的特色是三道明亮的谱线，这与碳氢化合物的光谱有十分显著的相似。这正是一种发光气体，而且也贡献了彗星组织内的光谱。

至少在一大半情形中并不是太阳的热量使这气体发光的，而是太阳风的作用，正和那使我们上层大气中有极光是一类。

看来构成明亮彗星的物质无疑的具有挥发性。当一颗明亮的彗星经望远镜细心考察时，有时常可见到有蒸汽缓缓从头部向太阳上升，以后再展开来离开太阳构成尾部。它的尾部并不是它拖着的附属品，像兽类拖带尾巴一样，那却是类似烟囱里冒出的烟流，它由烟雾大小的灰尘微粒组成的，逃逸的气体从彗核中被驱赶出来。

常常一颗彗星开始出现时并没有尾部。渐近太阳时尾部才渐渐形成。它离太阳愈近，它受的热量愈大，这尾部发展得也愈快。构成尾部的材料很快的向外运动。显然它受到了太阳辐射的有力的推动。因此彗星的尾部总是反对着太阳的。

第二章　流星

无论对天文学了解多少，几乎所有的人都知道流星的存在。并且有无数的诗人因为它惊人的美丽及短暂而赞叹不已。它们的光度相差不等，但愈明亮的愈稀少。一个常在外面过夜的人，一年里几乎也都能见到一次明亮的流星。如果运气够好，他还会看到一颗光亮足以照明全天的流星的。

差不多在一年中任何时候在晴朗的夜间，一个守望者都可于一小时内看到三四颗以上的流星。但有时它们却异常的繁多，例如在 8 月 10 日至 15 日之间就比平常多而且亮。历史上有几次它们数量的繁多竟使人们感到惊讶与恐惧。这类情形中可注意的几次是 1799 年、1833 年、1866~1867 年。最后一次更厉害，以致非洲南方的黑人竟流传下一种习俗保持这件回忆。

流星与陨石

流星的来历直到 19 世纪开始以后才完全弄清楚。太阳系中除了已知物体——行星、卫星、彗星以外，还有无数渺小得望远镜中也看不见的小天体在空间中环绕太阳运转，其中一大半大概都比小石头甚至砂粒大不了多少。地球在环绕太阳的路程中不断地遇上它们。它们与地球相遇时，相对速度可以高达数十千米，也许是 20 千米、30 千米、40 千米甚至高达 100 千米以上。以这样的高速撞上稠密的大气，由于巨大的摩擦力，它便立刻被加热到极高的温度，使它的物质不论怎样坚固都要化做一道明亮的光辉散去。我们看到的便是这小东西在高层稀薄大气中烧化的过程。

不用说一颗流星愈大愈坚固，便会显得愈明亮历时愈长久的。有时竟会使它

达到离地面数千米时才完全消散。这时在它路径下面的地上的人便见到一颗极明亮的流星。这种情形下，流星过去后几分钟内，可以听到从它经过处发出一声鸣炮一般的炸裂声。这是由于被其迅速飞驰所压缩的空气的震动而起的。

有时候，流星竟大得到达地面时还未完全化尽。这时我们便有了所谓陨石。一年中地上总有若干次这种情况发生于不同地域。

流星雨

我们现代对于流星方面的最大发现是和已提到过的每年某些季节发生的流星雨有关的。约在 11 月中旬有一阵很可注意的流星雨，这阵雨中的流星称为“狮子座流星群”（leonids)，因为它们视运动的路线都像是由狮子星座分散开来的。由历史的考证，我们知道这样大规模的流星雨约每隔一世纪的三分之一时期发生一次，已经这样经历了至少一千三百多年。最古的记载是阿拉伯留传下来的：

“五九九年摩哈仑月（Moharren）末日，群星乱舞如蝗；人众具惊，皆告于无上之神；若非神使将至，胡有此异象耶？愿祈福祉。”

被详细记载下来的这一族流星雨是 1799 年 11 月 12 日的那次。观测者是洪保德（Humboldt)，当时在安第斯山脉（Andes)。他似乎认为这是一件很可注意的天界表演，却没有正确研究它的来历。

下一次发生在 1833 年。天文学家奥尔伯提议说这流星雨可能有 34 年的周期，并且预言 1867 年有可能的回归，届时果然应验，而 1866 年也有。这两年间观测得比以前更加仔细，结果发现了流星与彗星间的关系。要解释这一层，我们先要给流星的辐射点下一定义。

我们发现如果一次流星雨来临时，把每一流星的路线都用线在天球上画出来，再把这些线往回延长，我们便会见到它们在天上某一点上相遇。11 月份的流星雨中，这一点在狮子星座中；在 8 月份的流星中，这一点在英仙座。这便叫做这一流星群的“辐射点”（radiant)。流星运动的路线都好像从那一点上向四面射出的，可是决不要以为所有的流星都聚在那一点上可以见到。它们可以在离这一点的 90 度以内任何地方出现的。但一见到它们时，它们的运动路线就是由这一点出发的

了。这便表示流星遇上我们的大气时都在平行线上运动着。辐射点便是透视画中所谓的没影点（vanishing point）。

彗星与流星

既知道11月流星雨的周期是33年，又已测定了它的辐射点的准确的位置，那么我们便能够计算这些流星的轨道了。在1866年流星雨后不久便由勒威耶动手做这件事。恰巧1865年12月有一彗星出现，在1866年1月经过近日点。关于它的运动的研究结果证明它的周期约为33年。这是由奥伯尔兹（Oppolzer）计算出来的，他把这结果发表了却未注意到其与流星群周期的相似处。于是由斯克亚巴列里发现了在奥伯尔兹的彗星轨道与勒威耶的11月流星轨道之间有如此惊人的相似。这两者离得非常相近，竟使人怀疑它们就是一体。显明的事实便是产生11月流星的物体在轨道中追随着那彗星。因此得到一个结论：这些物体最先是彗星的一部分，后来才渐渐分开来的。当一颗彗星照上一章所说情形解散了以后，其中未全化尽的部分还成为微小的物体绕太阳运动，渐渐又互相离散，因为其间没有充分的吸引力联络。不过它们还在大致同样的轨道中继续一同前进。

8月的流星也发现了同样的情形。它们运行的轨道也和1862年观测的彗星的轨道很近似。这彗星的周期是123年。

第三个这一类可注意的事件发生于1872年。我们已经提到过比拉彗星的消失了。这颗彗星的轨道差不多在地球当11月末经过的轨道中一点上与地球轨道相交。从这颗彗星的观测所得的周期看来，它要在1872年9月1日经过这一点，地球通过这一点还要在两三个月以后。参照其他相同情形的例子，便可断定1872年11月27日晚间会有一阵流星雨，而辐射点将在仙女星座中。这预言完全应验了，这些流星叫做“仙女座流星群”（andromedes），发生了几次美丽的流星雨，但自1899年以后，却只看到了其中很少数的流星出现。

1866年的彗星应于1898至1900年再现，却始终没有见到。也许这次错过去并非由于它的完全消灭，而是因为恰好它经过近日点的时候离地球太远以致不能见到。此外，应在1899~1900年出现的流星雨也没有大量出现。这种情形大致是

因为这一群又被行星的吸引改变了轨道，那是经常发生的事。

我们也许会由此误以为这些无数颗彗星环绕太阳经过这样长的时期，因而曾把其中微小的碎片遗在后面，但碎片也还遵守同一轨道像军中落伍者一样，而地球遇上这些碎片时便产生一阵流星雨。然而说所有流星都是彗星残片也有失偏颇，对于个别流星的情形并非总是如此。有的流星闯入大气中的速度往往超过了上章所说的抛物线的限度。看起来这些可能会是与我们系统毫不相干的无限恒星界中的流浪者。

黄道光

这是一种非常柔和而微弱的光，包围着太阳，差不多一直延展到地球轨道附近，而且几乎正在黄道平面上。在赤道上可以在任何晴朗的晚间日落后一小时内见到。在我们北纬中部却最好在春季晚间观测，约在日落后 1.5 小时，它必定在西方及西南方出现，一直伸展到昴星团。这时看起来最方便，因为它与黄道相对称，因此这时与地平线成的角度比其他任何时候都要大。在秋季，它可以在日出前看见，从东方升起，向南方展开。

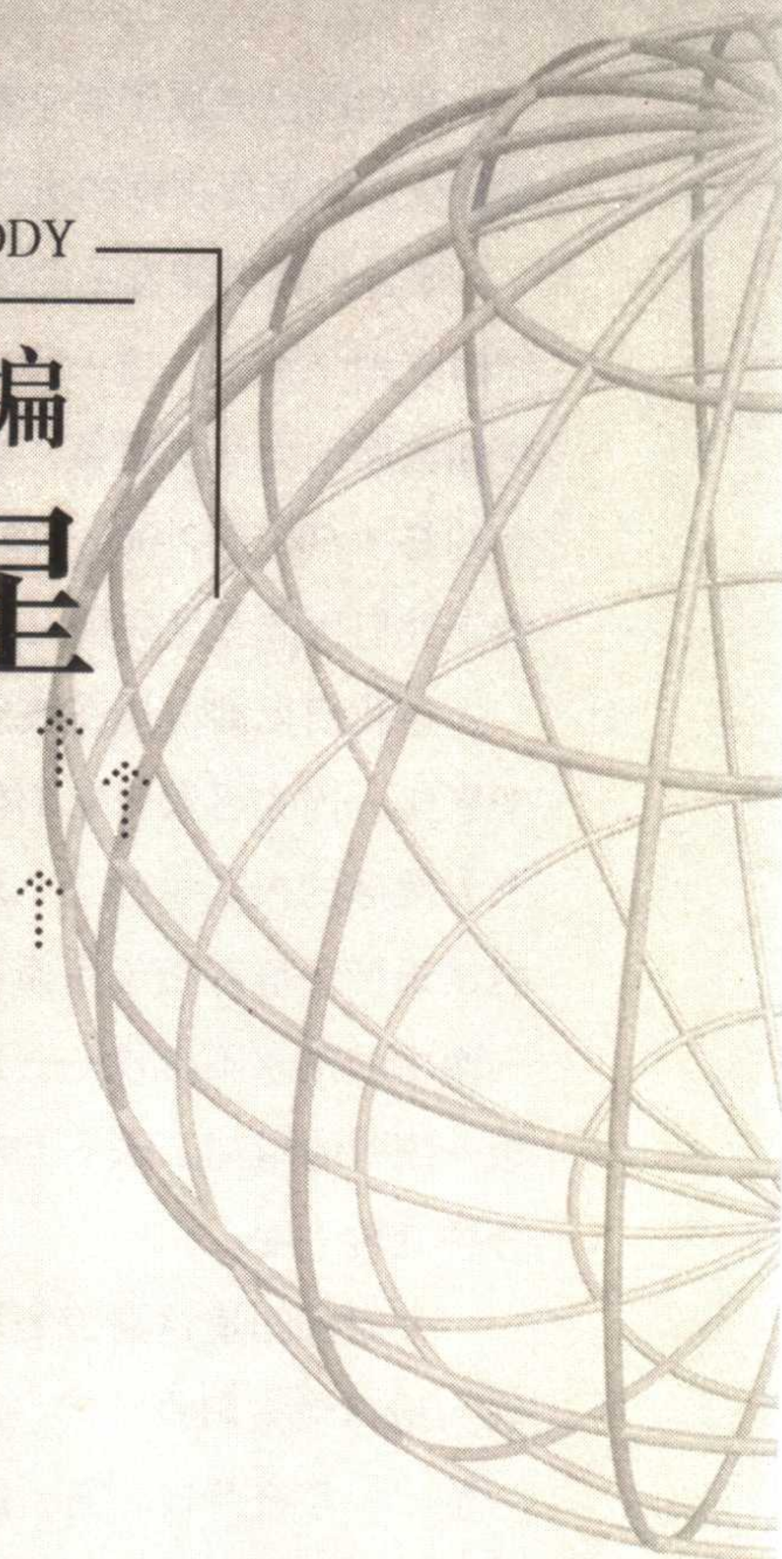
正背对着太阳的地方也有一片黯弱的光，这有个专名叫 Gegenschein。这个字是德国字，意思是“对日照”（counter-glow）。这光太暗，只有在最有利的情形下才可以看见。当它到银河中时，银河的光就像月光一样会把它淹没。

对日照在每年 6 月、12 月时经过银河，因此这两月中不能见到。在 1 月和 7 月的上旬也不见得能看见。其他时候要在太阳沉下地平线很远、天空极其晴明，月亮也没有的情形下才可以寻找它。那时可以看见它是一块极暗的光影，分不出清晰的轮廓来。观测者要寻找它可以向正背对太阳的区域中观察。

通常相信黄道光是一些不断环绕太阳的尘埃微粒（也许性质和流星类似）反射太阳的光。我们也可以很自然地将对日照用同一原因解释，而流星类物质在太阳的对面积聚也有力学的理由。

ASTRONOMY FOR EVERYBODY

第六编
恒 星



第一章　星座

我们既已完成了对于我们所居住的这一部分空间的考察，现在便要转向那辉耀诸天的群星所占据的更辽远的空间了。

平常肉眼所能看见的全天恒星数约在 5 000 至 6 000 之间。其中只有一半可以同时在地平线上，这一半中又有许多太接近地平线，因而被城市光以及那一方向更加浓厚的大气所遮蔽。在晴朗无月的乡间夜晚，平常肉眼可以立刻看出的星数大约是 1 500 到 2 000。肉眼可见的星称为“亮星”（lucid stars），以别于在望远镜下我们所能看见的极大的一批恒星。

当我们见到群星在夜空闪烁时，我们很容易忘记它们并非在同一个距离上这个事实，因为看起来它们似乎都有同等的距离的。我们可以假想它们是被安在一个大圆球的内部表面上，这大圆球便将地球完全包裹。这球在它偏斜的轴上旋转的结果使星辰都出于东而没于西。但对于一个北纬中部的观测者而言，环绕北极一圈中的星永不沉没——正如我们在第一章讲到的，这被称为恒显圈；而环绕南极一圈中的星却又永不上升。这大天球每一恒星日向西旋转一周，因此约为不到 4 分钟旋转 1 度。

大家都知道这是因为地球绕轴向东旋转才使天上景物每天向西转的。同时又因为地球绕太阳作公转，太阳又看来仿佛在众星间缓缓向东移动，每天差不多够一度，一年绕黄道一周。这种种地球自转结果都在前面已经讲过了。

由于太阳的向东移动，依地球自转为准的恒星日一日便差不多比太阳日一日短 4 分钟了。每夜的星辰都比前一夜早起约 4 分钟；而在同一小时内也要较前偏西 1 度。四季轮流下去，因此所有的星辰都交替逐渐从夜空中经过。

星辰也并不是平均分布在天上的，它们都聚成一团一团。其中有一些，例如北斗或飞马座大正方形，都是非常醒目，使人一见不忘。古人也和我们一样对于

天上显著的星群非常熟悉。宇宙的样貌在几千年中是很少变化的，古人给这些星群起了名字，因此开始有了星座。

我们的星座是远自古希腊人传下来的（其间当然有了修改和补充），而古希腊人又大概是从美索不达米亚（Mesopotamia）的居民那里学来的。远在公元前9世纪古希腊诗人荷马（Homer）就提到了大熊座、猎户座及其他著名的天上形象。古代星座（约共50个）的最早最完全的描写可以在马其顿（Macedonia）王的宫廷诗人亚拉图斯（Aratus）作的 *Phenomena*（公元前270年所著）中找到的。星座的名称都是神话中英雄和鸟兽的名字，也都与一些很熟悉的故事有关联。

现在公认的星座有88座，其中有18座环绕南极，在北纬中部不能见到。这些原有星座的补充是用来填补古代星座之间的空白，还有些在南极附近的星座也是古希腊人看不见的。

天文学家仍保存了星座的拉丁旧名字，但旧有的英雄及鸟兽的图像却不见于现代星图中了。为了实际的方便，星座成为天上的包括不同星群的区域，有我们任意定下的疆界，正如同地上的国界一样由国际间的共同协定。星座的疆界都要对天球赤道平行或垂直。所有在这一星座疆界内的星都属于这一星座。而任何时候若有行星或太阳或月亮在其中时，也说它是在这星座中。

因为月亮和行星以及太阳大都不会离开黄道太远，它们便常常和依循黄道的黄道带上十二星座连在一起了。这十二星座的名称是：白羊（Aries）、金牛（Taurus）、双子（Gemini）、巨蟹（Cancer）、狮子（Leo）、室女（Virgo）、天秤（Libra）、天蝎（Scorpio）、人马（Sagittarius）、摩羯（Capricornus）、宝瓶（Aquarius）、双鱼（Pisces）。黄道带是环绕天球的一道16度宽的带子，黄道正在其中。平均分为十二区域便是黄道十二宫，从春分点向东数起，十二宫的名字便是那十二星座的名字。两千年前每一宫都正好包括所属星座。但因为有岁差的缘故（我们已经说过的），黄道十二宫已向西移动，因此十二宫已不与同名的十二星座完全相符合了。

本章的目的是帮助读者认识在北纬中部一年之间可见的主要的星座。其中大半都有特殊形状的星的连合，例如正方形、十字形、勺子形，都很容易依据星图和解说从天上认出来。每一季都有自己的夜天星座，从哪一季开始认起是无关紧要的。不论是谁，只要开始认起星座大概总会继续下去，直到一年中认识全天的，因为不断的有熟悉的星座向西方消逝而新的星座由东方出现。

为方便起见，我们把天上可见区域分为五区。首先是北天星座，环绕天极永不没落，因此在北纬中部终年可见。其余四区的星座都有出有没而且大半经过天顶之南。我们现在划定每一季中下午9时经过子午圈的星座。星图中我们大半只画出较明亮的星，为的是避免混淆，也因此免除了星座的疆界。

北天星座

北天星座的图即本书第一编中的图2。图的中心是天球北极，星辰环绕它按逆时针的方向旋转，周期是23小时56分钟。要星图正合晚上9时的天空，可把图转动使本月份现于顶上。

首先是大熊座（Ursa Major），其7颗亮星合成我们熟悉的勺子形。这一群星终年可见，只有秋季太近地平线或许不能看到。注意勺子顶端的两颗星，这便是所谓“指极星”（Pointers），因为这两星形成直线直指北极星，北极星（polaris）靠近图的中心，到极的距离在1度以内，因此正好成为北天极的大致不差的标志。

北极星属于小熊座（Ursa Minor）。正在勺柄的末端，座中除勺边二星外都很微弱。那两颗星称为极的守卫，因为它们不息的绕着极旋转。

如果不见指极星时，要寻找北极星可以直向北方望去，它离地平的度数正和观测地点的纬度相等。因此在北纬45度的地方，北极星正居于天顶到地平的正中间。

在北天极的另一边，方向正和大熊座相反，距离北天极也大致和大熊座相等的是仙后座（Cassiopeia）。有五颗亮星形成一个W或M字母。再加两颗较暗的星，便成了仙后的宝座；只是该宝座的背非常弯曲，怕是要填上一个座垫才能舒服。

在仙后座前方的是仙王座（Cepheus）。有人觉得它像教堂的尖顶，尖冲着极。在仙王座之前，差不多在北天极与大熊座之间的是天龙座（Draco）的V字形的头部。这龙的身躯都是些较暗的星，可以凭借星图找到它们。它围绕着北天黄极，这黄极约在从北极星到龙头的三分之二的地方。这一点上没有亮星，它却正是天极因地球自转的岁差而非常迟缓地画着大圆的中心。

以上是北天五大星座。认识了它们以后，我们便转身向南，选择合我们观测季节的星图。姑且假定是在秋季。

秋季星座

图 39 表示秋季点缀南天的主要星座。垂直看来，月份下方是本月晚间 9 时经过子午圈的星群，从天顶（靠近上边）到南方地平（靠近下边）。

飞马座（Pegasus）的大正方形是秋季天空最易辨认的符识。秋初它出现于正东方。11 月 1 日前后晚九时它在南天最高处。这大正方形是由 4 颗 2 等星合成，每边约 15 度。正方形东北角的东北方是仙女座（Andromeda）的大星云。这是最明亮的远在银河以外的旋涡星系，以后要讲到的，在肉眼看来它仿佛是一块长的雾状光斑。如果我们假想飞马座大正方形是勺子的斗，东北方的仙女座的亮星便成了这勺子把柄。但把柄末梢的星却是另外一个星座（英仙座）的星了。

英仙座（Perseus）正在银河中，星组成箭头状对着仙后座。在这两星座之间我们见到一块云状光斑，用小望远镜甚至望远镜都可把它分为两个星团。这便是所谓英仙座双星团。箭西边有一排 3 颗，中央一颗最亮，便是变星 Algol（大陵

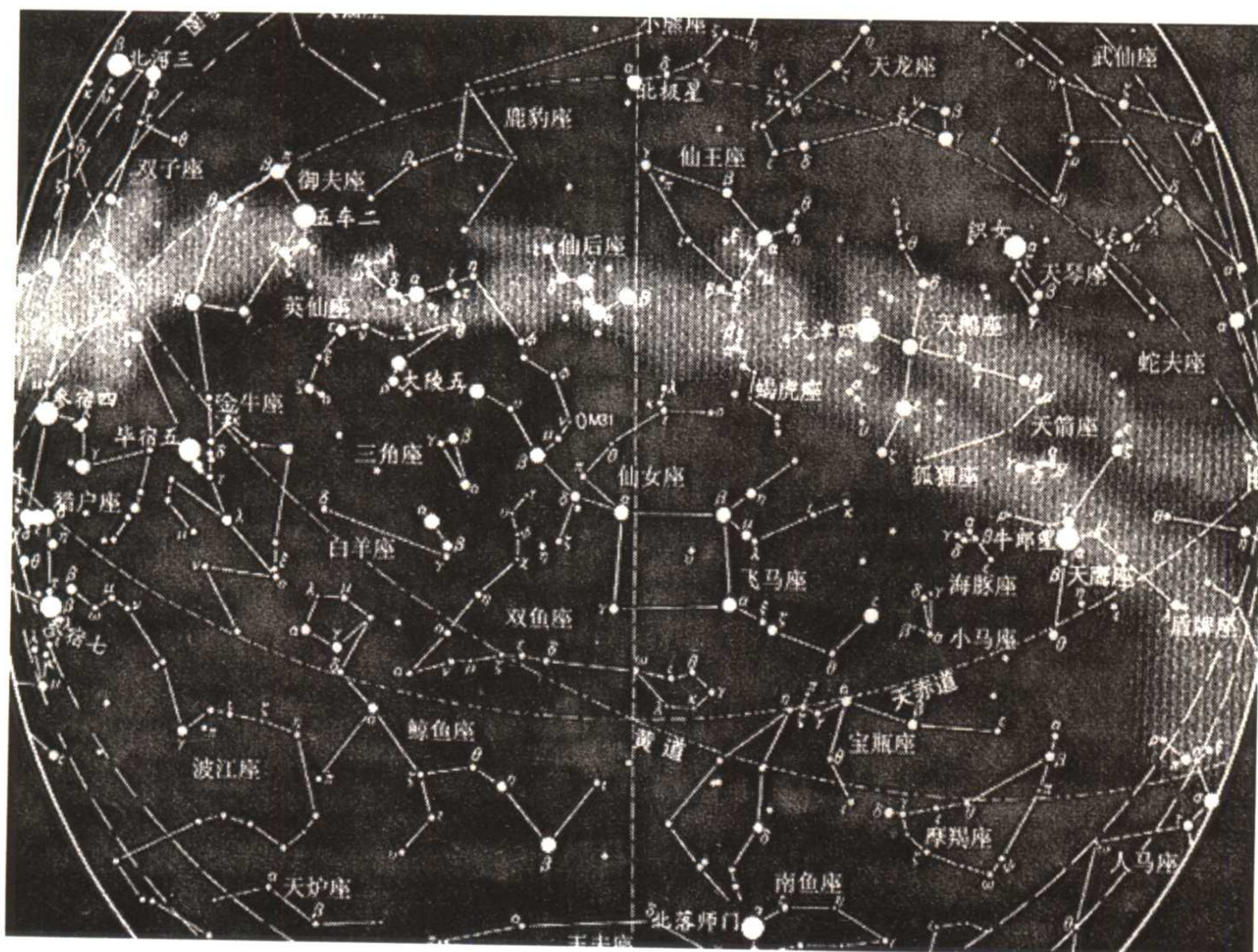


图 39　秋季星座

五)，是蚀变星的代表。

我们现在所考察的区域内有黄道三星座：宝瓶座、双鱼座、白羊座。黄道赤道相交处的春分点（太阳于3月21日在此处）差不多在飞马座正方形的东边线延长一倍的地方。两千年前春分点还在东北方白羊座。白羊座主要的星成为一扁三角形。

双鱼座之南是大星座鲸鱼座。这星座以其中红色双星 Mira（蒭藁增二）著名。这颗星肉眼平常看不见，一年中只能见到一两个月。秋季星座这一部分我们已弄清楚了。其中只有一颗1等星，这便是南鱼座（Piscis Austrinus）中的 Fomalhaut（北落师门），它约在10月中旬晚9时经过子午圈。

冬季星座

图40显示冬季星座，这是全天最光辉显赫的一部。其中亮星在凄冷的漫漫长夜中闪烁成各种颜色，仿佛要补偿这一季中日光的缺少似的。

猎户座（Orion）是所有星座中最辉煌的。4颗星构成一长方形，我们看来它正直立于南方。红色巨星 Betelgeuse（参宿四）在上方东角，蓝色的 Rigel（参宿七）在下方西角。横在长方形中部的三颗亮星成了这位英雄的腰带，而下面3颗暗星做了他的佩刀。3颗暗星的中央一颗其实并不是星，只是一个最美丽的星云，猎户座大星云是望远镜中的伟观。

猎户的腰带引领观测者的眼光到南方 Sirius（天狼）上去。这是全天最亮的恒星，它属于大犬座（Canis Major）。在猎户座东方，与天狼及参宿四形成等边三角形的是一颗1等星 Procyon（南河三）。这颗星在小犬座（Canis Minor）中。

顺猎户腰带上溯，我们便见到了V形的毕宿星团（Hyades），再过去便到更紧密的“七姊妹”昴星团（Pleiades）了。两者都是疏散星团的例证，以后我们要讲到的。毕宿星团在金牛座的头部，红色亮星 Aldebaran（毕宿五）是牛眼，而东边另两颗亮星便是角尖。这两颗星上面是御夫座（Auriga），其中黄色大星 Capella（五车二）是北半天球三颗最亮的星之一。

金牛座、双子座、巨蟹座是本区中的黄道三星座。本区中黄道是最北的一部分。

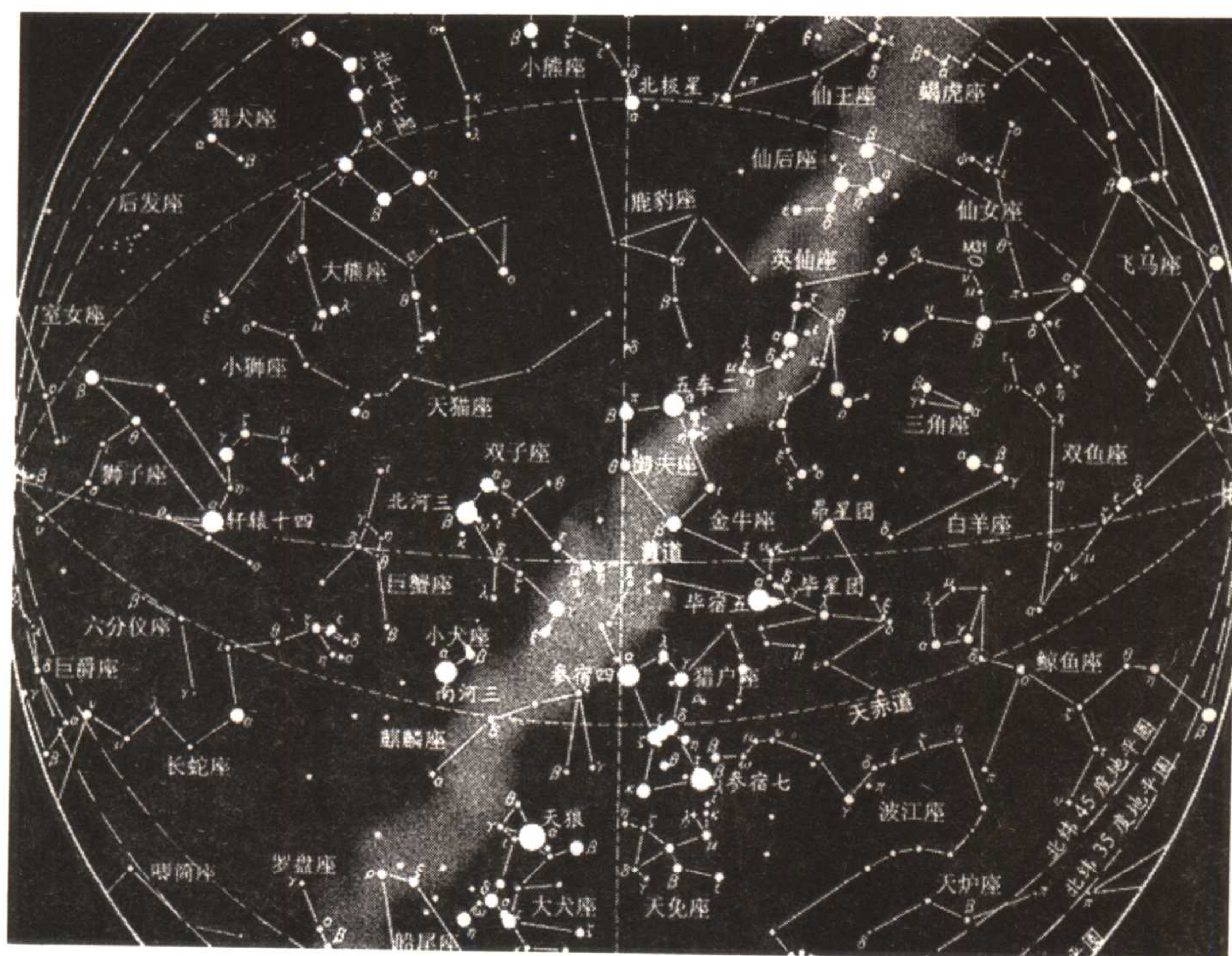


图 40　冬季星座

双子座形状也是长方形，东边一端有两亮星 Castor（北河二）和 Pollux（北河三）。1930 年发现的冥王星便在本座中。名称代表北回归线的巨蟹座倒是不大明亮的，其中最有趣味的部分是在肉眼看来像云斑的 Praesepe 星团（鬼宿星团）。望远镜也可看出它是一疏散星团。

冬季星座区中也包括一部分银河，这也使一个晴朗的夜间星空更加美丽，虽然它并没有我们在夏天所见的那一部分那样明亮动人。

春季星座

当冬季这些明亮的人物消逝到地平线下的时候，便有另一些比较欠显赫的春季星群来代替。狮子座是这一区天空的领袖，它在傍晚的东天出现，在许多民族看来都是春天将到的先驱。4 月中当晚 9 时前后它高高悬在南面天空。



图 41　春季星座

认识狮子座可以注意它的 7 颗星所成的镰刀形，其中最明亮的一颗是镰刀把末端一颗 1 等星 Regulus（轩辕十四）。镰刀之东是一直角三角形，三角形的最东一颗是 Denebola（五帝座一）。有的人便由这星座中的星想象出一只狮子的轮廓来。

从五帝座一引一直线到大熊座勺子柄末端，中间经过两个不显著的星座——后发座（Coma Berenices）及猎犬座（Canes Venatici）。前一座中有一星团，其中有的星可以被肉眼看见。有大望远镜的观测者对这一部分天空是极有兴趣的，因为其中挤满了旋涡星云和我们星系以外的非常遥远的系统。

最长的星座长蛇座（Hydra）横在春季的南天，像一道由星排成的不规则的线，从巨蟹座南一点差不多直到天蝎座。在它的中部附近有两个很有趣味的星座，一是巨爵座（Crater），像一只杯子；一是乌鸦座（Corvus），现为由相当明亮的星组成的四边形。

暂时再回到北天一下。本季中大熊座高于北极而且勺形倒转来了。依勺柄的

曲线向南延长。不久便逢到一颗很明亮的橙色的星，再沿曲线延长下去约再过这样远，便又遇上略欠光彩的另一颗蓝色亮星。前者是牧夫座（Bootes）中的Arcturus星（大角），后者是室女座中的Spica（角宿一）。牧夫座像个风筝，大角是正在系尾巴的地方。

室女座是黄道星座中较大的一座，但其中的星没有组成可以使我们记得的一定形态。角宿一和五帝座一和大角形成一大等边三角形。从角宿一引到轩辕十四的线便差不多表示本区天空上的黄道一段。而在这根线上五分之二的地方也便差不多就是秋分点，太阳在9月23日要从天球上这一点经过。

夏季星座

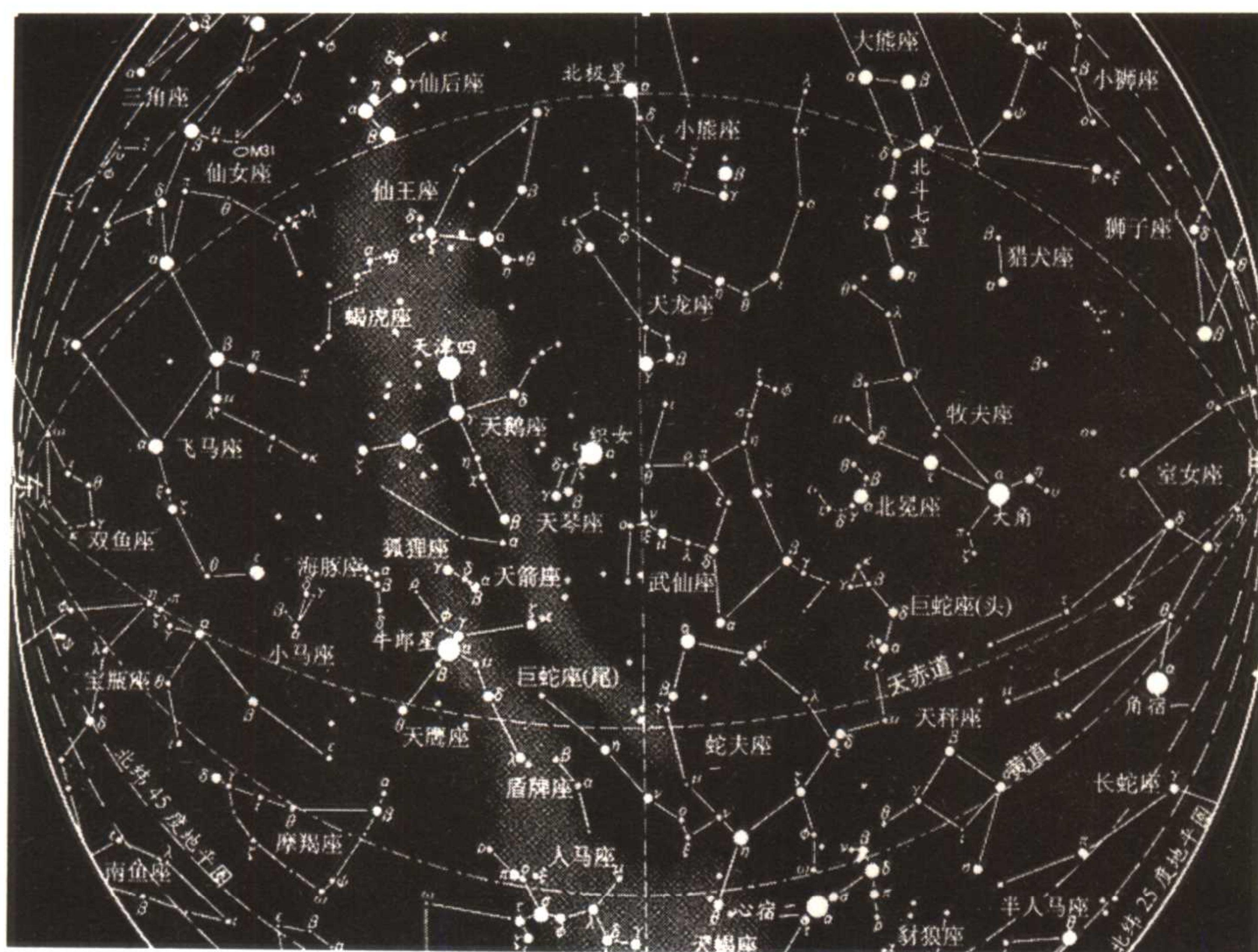
最多变幻而且最富兴趣的天界景物是在夏季。牧夫座东面紧邻的便是北冕座（Corona），可以立刻认出。这是一群星组成的半圆形，缺口对着北方。

再向东去便是武仙座（Hercules）的一部分，有的人看来觉得像一只展开翅膀的蝴蝶。此处有一个恰好为肉眼所见的球状星团，在望远镜中却是壮观之一。这一个恒星组成的大球是在北纬可见的这一类东西中最壮丽的。武仙座东部中便是“太阳向点”（Solar apex），以全星系眼光看来太阳系全体都正向这一点运动。

武仙座之东便是天琴座（Lyra），其中有蓝色亮星Vega（织女一）。再往东便是北方大十字形，中轴正顺着银河。这是天鹅座（Cygnus），其中最亮星是Deneb（天津四），正在十字形之顶。此处银河分为平行的两支流。我们且顺流而南下看看。

我们经过两小星座的旁边，一是天箭座（Sagitta），一是海豚座（Delphinus）。再过去便是较大些的天鹰座（Aquila）。其中最明亮的星Altair（河鼓二，即牛郎星）和两颗较暗的星排成一直线。银河的西支流直到现在都是较亮的，在此却暗淡消隐，到南方再重新显现。同时东支流变得亮起来了，在人马座中汇成了许多大的星云。这一黄道星座的特色是其中的6颗星组成的倒转的勺子。

人马座之西又是一黄道星座——天蝎座，这是最动人的夏季星座之一。它约在7月晚9时经过子午圈。其中最明亮的星Antares（心宿二）是真正的红色，这是已知的最大恒星，直径约有太阳的400倍以上。在南部低空的天蝎座与此时接



西

图 42 夏季星座　　南

近天顶的北冕座之间的一大块空白由两星座填补——巨蛇座（Serpens）和蛇夫座（Ophiuchus）。

认识著名的星座非常容易而且极有意义。不仅是这些形象本身已饶有兴趣，而且当夜的天空不再是星辰的无意义的堆积，而有了熟稔的面貌时，我们就常常去仰视天空了。这时大概很容易吃惊地发觉竟有那么多有趣事件在天上不断出现，而从前居然完全没有知觉的吧。

第二章　恒星的本性

人类守望星辰的一大半时代都只把星当作点缀夜空的闪烁的光点。很早就有古人注意到星辰集成种种显明的形状，尤其是星空能告诉夜间时刻和季候更为古人所常常利用。

天文学这种科学发展以来，好些世纪中差不多都还只限于直接围绕地球周围的天体，就是说太阳、月亮和明亮的行星。这些物体的特殊光明以及它们在星的天球背景上的运行都使它们赢得特别的注意。远处的恒星似乎是固定不变而且不可思议的，但它们却可做很适当的界标，可以标示出那些浪游者的行踪。也是因这缘故，才会很古就有了星图。

在哥白尼把太阳安放在它理应有的行星系统的中心统治者地位以后，渐渐地大家才明白了我们的太阳也只是一颗恒星，亮得多只因为距离近得多。于是恒星也渐渐被看作遥远的太阳，看作极大极热而且也许有行星卫星围绕着的物体。现在我们可以很放心地这样猜测了：2002 年，有人通过夏威夷的凯克望远镜在遥远的恒星旁找到了两颗比土星小的行星，从而发现了地外行星系统。

我们研究获得的太阳的一切特征大概也都可以应用在恒星上。它们都是极热气体结成的极大的球形，有光球、色球、日珥、日冕之类。它们不停地向空中倾注极多的能量。但是即使肉眼也可以看出恒星并不都是太阳的准确复制品。其中有蓝色星、红色星，以及像太阳的黄色星。

除了几件显著的特色以外，望远镜并未增加我们对恒星本性的认识。不用说，望远镜使我们多见到许多肉眼看不到的星，但是最大的望远镜也还不能把一颗恒星展开成一个圆面以便我们研究其表面的。只是在几种特殊仪器发明了应用了以后，恒星自身的现象才被我们观测到。最先应用而且今日为研究恒星最有效的设备是分光仪。

星光的分析

天文学中应用的分光仪是分析天体的光的仪器。这是借助于一枚或若干枚棱镜，或另外加一光栅，把光分散为一道色带，即“光谱”（spectrum)，其中的颜色和彩虹一样。从可见光谱的一端到另一端次序是紫、靛、蓝、绿、黄、橙、红，其间还有渐次的等级。

用两架小望远镜对着棱镜。第一架望远镜从平常放眼睛的一端接受光线，此处的目镜以一道狭缝替代。当分光仪连上望远镜时，这狭缝便在其目镜的焦点上。光通过了狭缝之后由第一架小望远镜（平行光管 collimator）的透镜造成平行，由此通过棱镜，这样成了光谱。便用第二架小望远镜来看——但常常是摄影的。利用放在一部分狭缝上的反射望远镜，又可以随着天体的光谱摄得一已知物质（例如氢、铁等）的光谱。这种比较光谱只有用上述的狭缝分光仪才可能，但这却有一桩不方便，就是一次只能显出一颗星的光谱。

另一种物端棱镜分光仪却有可以同时显出许多星的光谱的好处。这不过是一架望远镜在物镜前加上大棱镜而已。这样拍摄到的照片是望远镜所指的天区中星的光谱，一段短光谱表示一颗星。

天体的光谱分析实际上是由夫琅和费开始的（我们已经把他当作制造大望远镜的先驱介绍过了)。夫琅和费在 1814 年用自制分光仪考察日光，第一次见到许多细暗线经过光谱。他把光谱中从红色到紫色上面的显明的暗线用字母作符号，这系统至今还保留着。这样黄色区中两条紧紧相连的暗线便是 D 线。

1823 年夫琅和费又第一个考察恒星的光谱。他也在其中发现了种种暗线花样，这些花样随着星的红色程度增加而复杂。这便要等到物理学家基尔霍夫（Kirchhoff）来用他的著名定律解释这些暗线的意义了。我们试述这定律的结论如下：

一种发光气体的光谱平常是黑暗背景上各种颜色的谱线的花样，花样也便因构成这气体的化学元素的不同而各有特色。正像一座无线电台用各种不同的波长播音都可以通过调谐检验出来，发光气体中每一化学元素也可以由它发射的特定的光的波长认出来。

一发光的固体、液体，甚至气体在某种特殊情形下发出连续光谱，就是说它发出各色的光——白光。如果有较冷的气体夹在我们与这光源中间，它便会从白

光中吸收去恰与它所发相等的波长。这样联合的光谱便会是在原先的各色连续带上的暗线花样，这暗线花样便告诉我们加入干涉的气体的化学成分。恒星的暗线光谱的意义便是有些种选定的波长已被恒星大气从恒星光球所发的白光中筛去了。

恒星光谱的花样

恒星光谱的摄影研究已在哈佛天文台及其在秘鲁的阿雷基帕（Arequipa）分所（现已移非洲南部麻塞尔波尔）进行了差不多五十年。这工作中用的是物端棱镜。全天各区的万千照片都妥善保存并且小心研究过了。这种精勤不倦的工作结果遂使 25 万颗以上的恒星光谱都知道了。只要查考一下 H.D.星表（The Henry Draper Catalogue）便可以得到其中任何一颗星的亮度与谱型（Spectral class）。后一名词需要一点解释。

在所有研究过了的恒星光谱中，线的花样除了少数例外都可归并成一相连的序列。一颗待研究的星的光谱几乎一定配上这序列中的一处。这些花样平均隔开并用任意的字母 BAFGKM 代表。其中间相隔处都分为十部分。譬如说，我们研究一颗恒星的光谱，发现它的线纹花样正在标准花样 BA 的正中间，这颗恒星的谱型便是 B5。这种表示恒星光谱的方便办法是哈佛天文台初创的。这称为德拉伯分类法（Draper classification）。

B 型恒星光谱中氦线占优越地位。这种充满飞船气球的气体第一次从太阳光球中发现，因为在光谱中见到了生疏的线。氦星的例子是猎户座腰带三星正中一颗。

A 型光谱，例如天狼、织女的光谱，有显著的氢线。最轻的元素氢是各型中都有的。这型星都是蓝色的，其线纹花样的连续也是从蓝到红的颜色的渐次排列。

F 型星，如北极星及南极老人星（Canopus），都是带黄色星。其光谱中氢线较少，而钙、铁等金属线则甚繁多。

G 型星中太阳是足为代表的。它是一颗黄色星，光谱中有数千道金属线。大角星属于 K 型星，其光谱中金属线更为显著。这一型之末以及 M 型星的红星，例如猎户座的参宿四及天蝎座的心宿二，其光谱中宽带褶纹及许多暗线都可看见了。

以上是光谱序中的主要部分。此外还公认了四型星，但其中的星合起来还不

够全星数的百分之一。从前大家以为这一序列由蓝色星到红色星就表示了恒星的生命史。于是蓝色星便在幼年，太阳一类的黄色星在中年，而红色星便注定要越来越红，越来越暗，以至于最后消灭。一种较新的学说却主张红色星中一部分代表恒星的童年时代。恒星渐老便渐变黄变蓝，最后又反转来变红，这又是老年了。还有其他的关于恒星演化的学说出现。

恒星的温度

一块金属物在热得发蓝色时的温度比热得发红色时要高，我们也可依此推断蓝色星的大气温度比红色星的高。相当的研究证明了我们的推测不错，光谱序确实也代表温度降低的次序。恒星光谱的测验不仅证实了这桩事实，而且得出了各光谱型的恒星的温度值。还有，近年来又能够测出恒星所发的热量。

在论太阳一章中，我们曾指出测定太阳的温度可以用一片水在日光中，观测水的温度的升高而做一些计算。这种粗略的办法显然是不能适用于恒星的。帕第特（Pettit）与尼科尔森（Nicholson）用另一种方法也得到了同样的结果。他们利用威尔逊山的 2.5 米望远镜将一颗恒星的光聚焦在极小的热电偶（thermocouple）上，再由电流计（galvanometer）的偏转而观察其热效应。用这种方法他们可以测出一颗比肉眼能见的程度暗数百倍的星的热量，因此测出了星的温度。他们还用这方法测定行星以及月亮表面各部分的温度。

蓝色星的表面温度约自 10 000℃到 20 000℃，或者还要高。黄色星的表面温度约在 6 000℃上下，而最红的星的表面温度却只有 2 000℃上下了。但即使最冷的恒星也还是极热的。

光球之下的恒星温度随深度而大大增高，中心也许到了千百万度。我们对恒星发光的来源有比较一致的看法，即认为其巨大光能来自中心的热核反应，氢聚变为氦，然后聚变为碳、氮、氧……直到铁才渐渐停止。

巨星与白矮星

恒星的实际亮度或说“发光本领”（光度 Luminosity）彼此之间是相差极大的。假如我们能把它们和太阳排在同等距离的一行上，就会发现它们的亮度有从太阳的万分之一到万倍以上的差距。实际上天文学家只观测恒星如果在某一标准距离上应有的光辉。至于它们距离如何测定却要等到下一章来说明。

我们且在一张方格纸上把一黑点代表在一相当地方一颗已知其发光本领及谱型的恒星。图 43 便是这一类的“光谱光度简图”。其中水平线代表不同的谱型，自左而右，从蓝色星到红色星。垂直线代表不同的实际亮度，以太阳亮度为单位，自下而上逐渐升高。代表太阳的一黑点属 G0 型。

代表大部分恒星（中有太阳）的黑点都傍着自左上方到右下方的斜线。这便是“主星序”（main sequence）。顺这斜线向右，星渐冷，也便渐红渐暗渐小。

在主星序之上有两群黑点代表的星。这便是发光本领平均在太阳百倍左右的“巨星”（giant stars）以及比太阳亮数千倍的“超巨星”（supergiants）。我们考察某一特殊的星，例如红色 M 型星。既然它们颜色相同，表面温度也相同，而它们的表面亮度每平方米也必相同。这一型星中任何一颗的表面一平方米的亮度一定与另一颗同型星上同大小的表面亮度相等。巨星与超巨星能比同型的主序星明亮若干倍，这便表示其表面要更多若干平方米了；它们亮那么多倍只因它们大那么多倍。

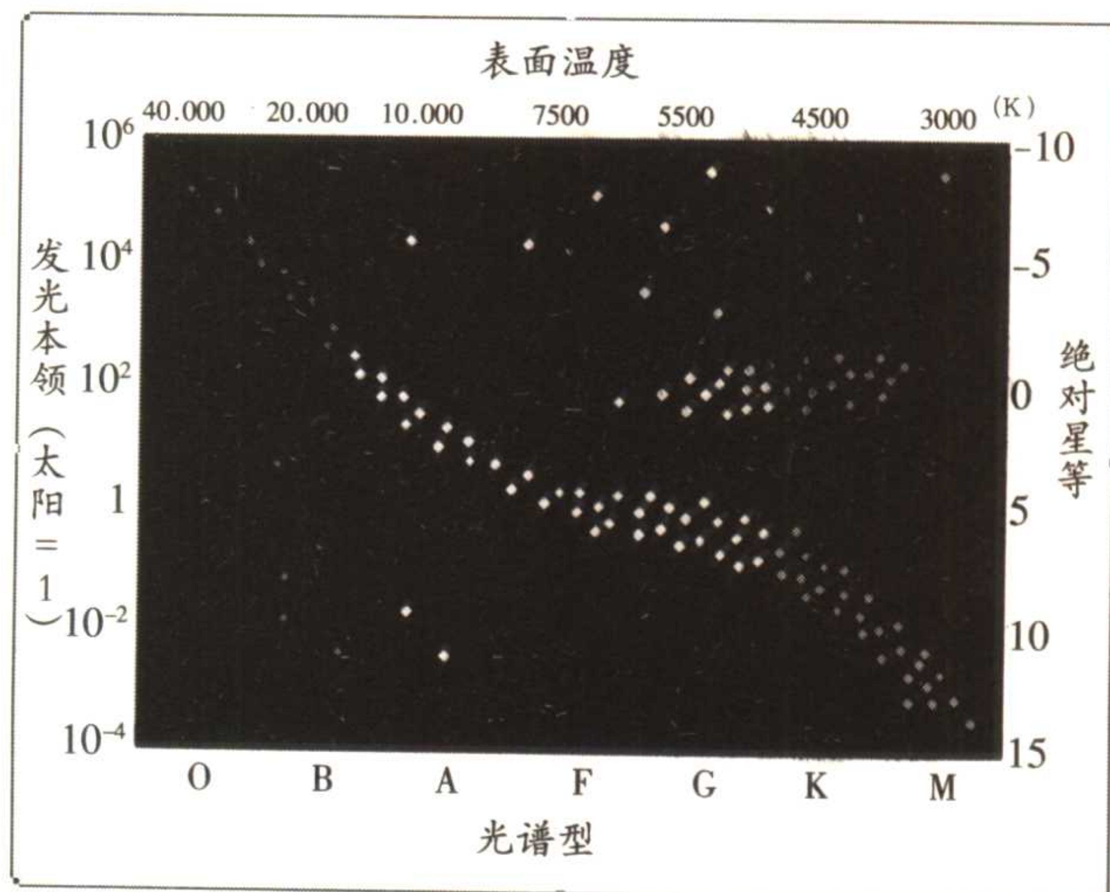


图 43

光谱—发光本领图解

图中还有另一小群黑点分开在左下角。这便是那种“白矮星”（white dwarf stars）。其中最著名的是天狼星的暗弱的伴星。它们既然比寻常白色星暗到千倍以上，自然也必更小千倍以上了。白矮星确乎不比主序星中红色星更暗，但要比它们更小，因为白色星的每一平方米要比红色星为明亮的。（不过相对中子星来说，白矮星要算大个了。中子星是恒星演化晚期产生的，是目前所知的宇宙中最密的物质了。）

恒星的大小

称量恒星的方法和称量行星的方法大致相同，也是利用它们加在邻近物体上的吸引力。我们已经说过，要精确测定出一颗没有卫星的孤立的行星（例如水星）的质量是很困难的。可是若有了卫星，问题便简单多了。要测定一颗单独的恒星的质量是更困难得多的。分离恒星的空间大得使一颗恒星加在另一颗上的引力效应不能观察出来。

幸而为了完成这种称量，望远镜发现了数千对星——双星，其中有许多都是相互旋转的。分光仪又显出了许多更接近的双星。在某特定距离上，公转周期愈短，两星合并的质量也愈大。只要把平均的分离距离及公转周期测定以后，计算这合并的质量就很容易了。而且，有时还能测定这双星系中单独的星的质量。

这种双星研究的惊人的结论是恒星的质量差不多都很平衡，几乎都只是从太阳的五分之一到五倍那样的差别。这些建筑宇宙的砖瓦的物质差不多都大致相等，而太阳也是其中很恰好的中等。它决不是一颗二流以下的星，如有些人要我们相信的。因此我们很可以有一点合理的骄傲了。

我们考察图 43 时，已经得到了一些关于各类恒星的大小的知识了。那时会看出主序星中比太阳较蓝的要较大，较红的要较小，白矮星要小得很多，巨星要大得很多，而红色超巨星是所有星中最大的。根据我们由图表所得的情形而做的计算也得到上述的结论，而且还得到了单颗星的直径的大致可靠的值。直接测量一颗恒星的大小，像测量月亮和行星的直径一样的方法是不可能的，因为即使是在最大的望远镜中也没有一个恒星能呈现真正的圆面。如果我们记得这一点，那就难免要惊异

天文学家的聪明，居然能从我们叫做星辰的光点中搜寻出那么多的意义来了。

自 1920 年以来，迈克尔逊（Michelson）式测量恒星直径的干涉仪已在威尔逊山应用了。起先和 2.5 米反射望远镜连接，后来分离，这种方法有些繁复，我们只说干涉仪测量有些恒星的直径结果极可满意就够了。已经测过的最大的恒星是心宿二，其直径为 6.4 亿千米。参宿四是第一颗被测量的，约有它一半大。这些红巨星的体积都是大得不可思议的。

既然恒星的质量大致平均，既然其中物质所占的空间却又大小相差如此之巨，恒星的密度也自然互相有极大不同了。在红巨星中物质的分布非常稀薄，例如心宿二就只有我们周围空气密度的 1／3 000。

在另一极端，白矮星却又紧密得不可思议，其密度在以前还被认为不可能的。在大小方面，它们很像行星。在物质的量的方面，它们却可以和太阳相比。天狼星的暗弱的伴星的平均密度约为水的 3 万倍。有人认为那颗星中的原子在那极高的温度下差不多全粉碎了，因此能有地球上不能得到的紧密的物质。

虽然有似乎不可否认的证据，这一层要得到所有的天文学家与物理学家的承认似乎是困难的。确乎大家还可以不相信天狼的伴星能比水更密 3 万倍的——换句话说，这颗星中一寻常玻璃杯的材料就有七八吨重——假如没有独立的证据来支持的话。依照相对性原理说，非常紧密的恒星的光谱中线纹定要大向红方移动。天狼星的光谱中的这种移动已在威尔逊山和里克天文台两处观测到了。

变星

大多数恒星的光辉都是毫无变化的。当我们想到这极大的能量是由恒星光球流出的时候，我们定要惊异于恒星内部的有效的作用居然能够一秒一秒、一世纪一世纪，毫不变化地供给能量给光球。但是有许多恒星的辐射能量却并不经常不变，这种星叫做变星。我们姑且把因食而变光的星留到后面再讲。

鲸鱼座中的 Mira（蒭藁增二）是远在 1596 年第一颗被认为变星的。有时它只可在望远镜中看成 9 等星；有时它增亮了百倍以上，竟在肉眼看来也是一颗明星。这上下往复约 11 个月一周。蒭藁增二是许多的“长周期变星” (long period vari-

ables）一类的例子，这些都是红巨星或超巨星。许多别的红巨星，例如参宿四，变光很小而且极不规则。有几群星的变光却又部分可以预测。

“造父变星”（cepheid variable stars）是现今讨论得最广泛的一种星，它们也确有极大价值，这在下章就要说明。这名称是从仙王座 δ 星（Delta Cephei）来的，那是这种变光的最初例证之一：标准的造父变星都是黄色超巨星。它们的变光在周期和方式两方面都极有规律，周期大半在一星期左右，虽然全数排起来要从 1 天到 50 天。这些星的变光不仅在量而且在质，在最亮时它们要比最暗时加蓝约一全谱型的程度。

造父变星中约有一半并不如上述那样标准。它们与其他恒星有许多相同点，却又有大大的不同。因为它们常出现于大球状星团，所以叫做“星团造父变星”(cluster type cepheids)。它们都是些蓝色星，变化周期约半日左右。其中没有一颗可以为肉眼所见。

通常假定造父变星（也许连所有的其他真变星都在内）的光的变化是起因于这些星的脉冲。最简单地说来（或许又太简单了），这学说认为变星是十分规律地一涨一缩的。内部热量的多产使恒星亮起来蓝起来。它涨大，于是冷下去，因此又暗下去、红下去。这调整一过火，星又冷得不能不变了，于是再收缩。这种脉冲一经开始，便要继续一个长时期。这简单学说的一个明显的而且不易立刻逾越的困难，便是事实上造父变星的最亮时并不在它最紧缩的时候，却在这以后的周期的四分之一的时候，那时它向外膨胀得十分厉害。显然这颗恒星变光问题是与恒星本性的整个问题有密切关系的。

恒星演化

从前把宇宙演化的理论看得比现在严重些的时候，大家相信星云是宇宙间最原始的材料形态。星云又怎样产生却不能明白了。星云便是最初的混沌，有秩序的恒星、行星之群都由此而生。二百多年前，哲学家康德提出第一个星云假说。他选定星云做第一阶段，因为他看来这是不能继承其他物质的最简单的形态。在他看来，演化过程便是由简趋繁，这种观点在后来的学说上也大致传留了下来。

拉普拉斯的关于宇宙演化的星云假说是其中最著名的一个，他把太阳系的发展特别研究了一下。

直到20世纪30年代，大家还大致假定恒星的发展是由于明亮星云（例如猎户座大星云）的凝缩。而且大家相信不同颜色的恒星便代表不同的年岁。年轻的星最热，因此是蓝色星。它们逐渐冷却凝缩便成为太阳之类的中年黄色星。到老年更冷了，便成为红色。它们的光又逐渐变红变暗，最后便消失了光芒。这古典理论并不是尽美尽善的。我们不能明白何以最热的星能是冷的星云的第二阶段。可是蓝色星与亮星云的亲密的联结似乎又证明它们都极其年轻，例如昴星团中的蓝色星就裹在星云之中。但我们已知道这联结现在有了与前此不同的含意了。星云的明亮只因为附近有热的恒星。

恒星演化的原来的学说是一条路线的过程，从稀薄的星云到密而暗的恒星。但在1913年，罗素（Russell）指出从蓝星到红星的程序有两支。一支包含比太阳更大更亮的巨星与超巨星，其中的红色星是最大最稀薄的。另一支包含较小的主序星（有太阳在内），这些星愈红便愈小愈密。为解说这新论据，又有恒星发展的新学说出来，在其后广为采用。恒星由暗星云凝缩而成，起初是大的红星，温度低，而且表面每平方米都并不亮。可是因为它们太大，所以也就成为最亮的星了。年纪一大，这颗星就变小。有一时期它们由凝缩而生的热量比辐射出去的多。它们越来越热，从红到黄又到蓝一直变色。此时凝缩减慢了，热量得到的比放出的少了。星又渐冷却，颜色由蓝而黄而红。最后停止发光。

两种学说都是以星云始，以暗星终。两者都以凝缩为要点。考察这些学说时，我们倒要知道是否将来有一时期中全没有星云而且一切星都消失不见。不过我们要记得这是讨论到一个极烦难的题目的先驱学说。宇宙发展过程极慢，因此也极难追求踪迹，我们又没有确切证据证明恒星不断地凝缩。

恒星的演化是一个漫长而复杂的过程。我们现在认为，恒星的终态有三类：其一，大质量恒星的燃料用完后炸掉自己，最终灰飞烟灭，其残片又重新聚集，也为新恒星的诞生提供了条件；其二，超新星爆发后留下一个中心天体（中子星或夸克星），发出规则的脉冲，表现为我们熟知的脉冲星。休伊士女士最初发现这些脉冲时，还以为是外星人的信号呢；其三，发生引力的进一步塌缩，形成恒星级别的黑洞，这也是目前科学界的热门话题之一。

新星

“新星”是一切星中最惊人的，而且也实在是一切天界现象最惊人的。它们被叫做“新星”（novae），其实并不是新生出的星，只是表面和大多数恒星一样永恒的暗弱的星因为我们未知的缘故突然炸裂了而已。在几小时之内，它们由不可见而一直升到不知若干倍的明亮。在它们暂时的光芒绝顶时，它们有时可以比得上最亮的恒星，而更稀少的时候竟可比得上最亮的行星的。以后它们又较迟缓地沉入比较的黑暗中去。

最美的新星在 1572 年出现于仙后座中。它常被称为“第谷星”（Tycho's star），因为那位著名天文学家虽非这颗星的第一个发现者，却是第一个观测者。那颗星突然升到和金星相等的亮度以后暗淡下去，约六个月以后消失不见。蛇夫座中的“开普勒星”（Kepler's star）比木星还要明亮。这颗星在 1604 年出现于天空，整整一年半都可为肉眼所见——当时还没有望远镜可以继续看下去。

20 世纪初有 4 颗很亮的新星出现。英仙座新星出现于 1901 年，比五车二亮一点。天鹰座新星出现于 1918 年，是三百余年来最亮的一颗，超过所有的恒星——除了天狼。在两三天内它增加了差不多 5 万倍的亮度。天鹅座新星在 1920 年几乎和天津四一样亮，正在这北方大十字（天鹅座）之顶。绘架座新星（Nova pictoris）出现于 1925 年，最亮时达到一等。

这些都是突然出现的明亮新星。有许多新星最亮时也不能为肉眼所见的，其中有的是借摄影而得，无疑还有许多升起衰落而未被人望见的。有人推测每年有至少 20 颗可为小望远镜看见的新星在我们周围恒星中突然出现，而此外还有无数颗在我们的银河系以外。

总之，新星并不是非常稀罕的，在恒星的悠长的生命中大概每一颗都可以有这样特别炸裂的时候的。但一想起我们的太阳也许有一天会这样炸裂，那就更加有趣了。这样的事件毫无疑问的要成为地球上生命的最大的灾难。我们很惊奇在恒星的平常和顺的动作中何以能生出这样的炸裂来。天文学家利用望远镜、分光仪、照片，得到了不少关于这种突变现象的资料。我们现在说，新星伴随着恒星的死亡而出现，是引力塌缩的后果。当晚期恒星的内核不再提供足够能源时，引力开始发挥巨大威力，通过一系列剧烈的物理过程，释放出巨大的能量。

现在已把我们所知的恒星各种特点考察了一遍，我们可以问一下本章题目所含的问题而加以简洁总括的答复了。恒星是什么？那位写“小星！小星！眨眨眼睛，我们真惊奇，你是什么东西？”的诗人是只安于惊奇的。天文学家也一样惊奇，但同时却坚决地要努力发现其中的道理。当然这也便是他的职责所在。他在这可以进行有效探索的短时期中所得成绩如何，我们已经看到了。

恒星是宇宙的能源仓库，是大自然建立复杂而巨大的工程的砖块。它们都是极其炽热的气体的球，其中所含的气体的量各星相差得并不太远。但在大小方面却有极大的不同，其直径排列起来要从红色超巨星的几亿千米到白矮星的几万千米。前者平均比空气轻几千倍，后者却比水还重几万倍。在其中心，至少密度是极大而温度也高得不可思议。有的恒星变光，使人想到脉动；有的会炸裂。如是如是便是所谓恒星。

中子星

如果你为白矮星的巨大密度而惊叹不已的话，这里还有让你更惊讶的呢！现在介绍一种密度更大的恒星——中子星。它的密度为 10^{11} 千克／立方厘米，也就是每立方厘米的质量竟为一亿吨之巨！对比起白矮星的几十吨／立方厘米，后者似乎又不值一提了。事实上，中子星的质量是如此之大，半径十千米的中子星的质量就与太阳的质量相当了。

同白矮星一样，中子星是处于演化后期的恒星，它也是在老年恒星的中心形成的。只不过能够形成中子星的恒星，其质量更大罢了。计算表明，当老年恒星的质量大于 10 个太阳的质量时，它就有可能最后变为一颗中子星，而质量小于 10 个太阳的恒星往往只能变化为一颗白矮星。

但是，中子星与白矮星的区别决不只是生成它们的恒星质量不同。它们的物质存在状态是完全不同的。简单地说，白矮星的密度虽然大，但还在正常物质结构能达到的最大密度范围内——电子还是电子，原子核还是原子核。而在中子星里，压力是如此之大，白矮星中的简并电子压再也承受不起了：电子被压缩到原子核中，同质子中和为中子，使原子变得仅由中子组成。而几乎整个中子星就是

由这样的原子核紧挨在一起形成的。可以这样说，中子星简直就是一个巨大的原子核（表面的壳层除外）。

在形成的过程方面，中子星同白矮星是非常类似的。当恒星外壳向外膨胀时，它的核受到反作用力而收缩。核在巨大的压力和由此产生的高温下发生一系列复杂的物理变化，最后形成一颗中子星内核。而整个恒星将以一次极为壮观的爆炸来了结自己的生命。这就是“超新星爆发”。

中子星的表面温度约为一百多万度，辐射出 X 射线、γ 射线和可见光。它拥有极强的磁场，使极冠区沿着磁极方向发射束状无线电波。中子星自转非常快，有的能达到每秒几百圈。而磁极与两极通常不吻合，所以如果中子星的磁极恰好有可能朝向地球，那么随着自转，中子星发出的射电波束就会像一座旋转的灯塔那样一次次扫过地球，形成射电脉冲。我们又称这样的天体为“脉冲星”。

黑洞

“黑洞”这个名词是美国物理学家惠勒在 1968 年发表的一篇题为“我们的宇宙，已知的和未知的”文章中首先提出来的。他不愿意用“引力坍缩物体”这样累赘的词汇，便创造了“黑洞”这样一个较简洁、概括性较好而又响亮、有力的名词。所谓“黑洞”，指的是这样一种天体：它的引力场是如此之强，就连光也不能逃脱出来。根据广义相对论，引力场将使时空弯曲。当恒星的体积很大时，它的引力场对时空几乎没什么影响，从恒星表面上某一点发的光可以朝着任何方向沿直线射出。而恒星的半径越小，它对周围的时空弯曲作用就越大，向某些角度发出的光就将沿弯曲空间返回恒星表面。等恒星的半径小到一特定值时，就连垂直表面发射的光都被捕获了。到这时，恒星就变成了黑洞。

当一颗恒星衰老时，它的热核反应已经耗尽了中心的燃料（氢），由中心产生的能量已经不多了。这样，它再也没有足够的力量来承担起外壳巨大的重量。所以在外壳的重压之下，核心开始坍缩，直到最后形成体积小、密度大的星体，重新有能力与压力平衡。

质量小一些的恒星主要演化成白矮星，质量比较大的恒星则有可能形成中子

星。而根据计算，中子星的总质量不能大于三倍太阳的质量。如果超过了这个值，那么将再没有什么力能与自身重力相抗衡了，从而引发另一次大坍缩。

这次，物质将不可阻挡地向着中心点进军，直至成为一个体积趋于零、密度趋向无限大的“点”。而当它的半径一旦收缩到一定程度（史瓦西半径），巨大的引力就使得即使光也无法向外射出，从而切断了恒星与外界的一切联系。于是“黑洞”诞生了。

与别的天体相比，黑洞是显得太特殊了。例如，我们无法直接观察到黑洞，只能对它内部结构提出各种猜想。根据广义相对论，空间会在引力场作用下弯曲。这时候，光虽然仍然沿任意两点间的最短距离传播，但走的已经不是直线，而是曲线。

在地球上，由于引力场作用很小，这种弯曲是微乎其微的。而在黑洞周围，空间的这种变形非常大。这样，即使是被黑洞挡着的恒星发出的光，虽然有一部分会落入黑洞中消失，可另一部分光线会通过弯曲的空间绕过黑洞而到达地球。所以，我们可以毫不费力地观察到黑洞背面的星空，就像黑洞不存在一样，这就是黑洞的隐身术。

怎样才能发现既黑且小的恒星级黑洞呢？一颗巨大的恒星一旦坍缩成为黑洞，虽然一切都消失了，但强大的引力依然存在，所以，如果某个黑洞与一个亮星组成一对互相绕转的双星系统，那么黑洞的强大引力不仅可以使亮星摆动，而且还会把亮星上的物质吸进黑洞，炸成碎片。这些碎片的温度会升高到 10 亿度，其结果就会发射出强烈的 X 射线。这样，寻找恒星级黑洞就变成寻找 X 射线源的问题了。

有两种类型的 X 射线双星：一是大质量 X 射线双星（Massive X-ray Binaries，MXRBs），由质量大于太阳的亮星或中子星和黑洞组成。二是软 X 射线暂现源（Soft X-ray Transients，SXTs），或 X 射线新星。当亮星物质被致密天体猛烈吸积时，X 射线强度可剧增百万倍。随着这种物质输运过程的减缓，X 射线的强度在 6 个月到 1 年的时间里也逐渐减弱，此后，双星系统平静下来，平静期可维持十年之久，但在可见光或红外波段仍可观察到亮度的变化，这是由于 X 射线束使围绕致密天体的吸积盘外区发热并使其发亮所致。

在两星都可见的双星系统中，可以通过它们的可见光谱线的红移和蓝移现象测定视向速度的变化及两星互绕的轨道周期，从而测定它们的质量。但现在，我们测不到不可见天体的光谱，所幸的是能通过一个质量函数的量来估计不可见天体的质量范围。

第三章　恒星的距离

测量天界距离的原则已在论太阳系的比例尺一章中解说过了。测量月亮行星及其他邻近的物体，我们用的基线是地球的半径，或在实际上用连接地球表面上两观察点的线。但是要测量即使是最近的恒星的距离，这根线也太短了。因此我们便用地球轨道的半径作基线，或在实际上用连接地球轨道近两极处的线作基线，来测量恒星的距离。即使是用分离多出这么许多的两观测点，得到的恒星位置的移差还是极其微小的。

设图 44 中左边小圆代表地球轨道。设 S 为我们想测量的较近的星。设虚线为实际不变动的遥远的星 T 的方向。当地球在轨道一边的 P 点时，我们测定两星之间的 SPT 角。当地球到了另一边时，我们再测定相当的 SQT 角。两角的差 PSQ 角除以 2，便得到那颗星的“视差”（parallax）了。严格说来，这只是观测到了相对的视差。因为那遥远的星也会有少许移动的。如果这一点移动也测定了加入一算，最后的结果便是绝对视差。

实际上一颗星的方向只观测两次是不够的。看起来恒星都永恒不动，其实它们都在极迅速地运动着，因此也都在不断改变方向的。若用望远镜观测较近的恒星，这种“自行”（proper motion）尤为显著。因此在隔了 6 个月的两次观测中，我们不能确定所测得的移差有多少是由于该星的自行、有多少真是我们自己改变位置所生的视差。为了区分这二者，观测必须在两三年以上。

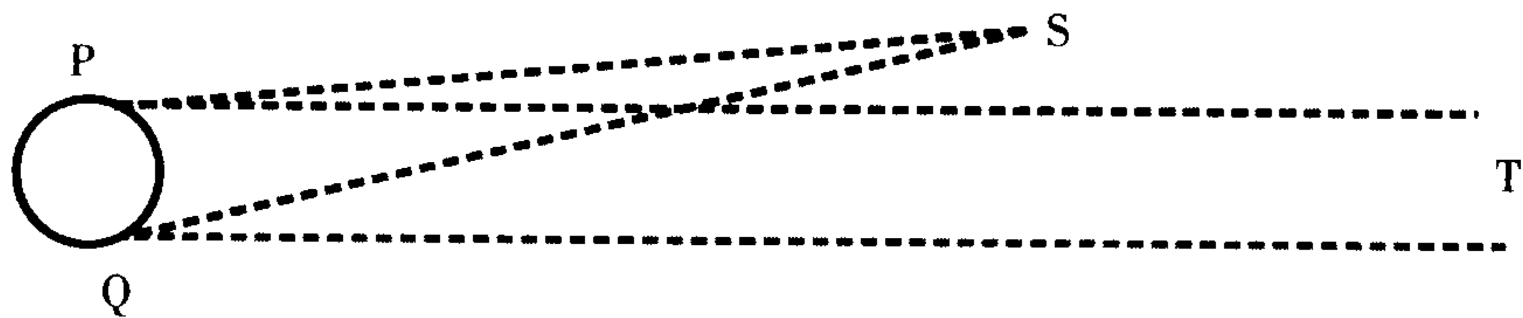


图 44　恒星视差的测量

现代的视差测定用的是摄影法。一架长望远镜对着包含欲观测恒星的区域，底片在望远镜焦点处曝光。隔了6个月以后，再用别的底片拍摄这同一区域。这颗星在照片中的位置便根据别的较暗而大致较远的星而精密测定。那些别的星便叫做比较星。这种工作是异常精细缜密的，因为最近恒星的移差也只有1.5弧秒。这就是一个直径2.5厘米的物体在3.2千米路以外所观测得的对角。大多数这样测出的恒星的视差都是更要小得多的。

当视差的数量测定了以后，计算这颗恒星的距离便很容易了，于是轮到选择表示这数目的方式了。要得到这距离的天文单位数（天文单位是地球到太阳的平均距离），要用视差除206 265。曾久被认为最近恒星的半人马座α星的视差是0.76弧秒。因此它比太阳远27万倍，就是40亿千米。这数目大得不方便了。天文学家便采用另一种更大的单位，光年或秒差距。

"秒差距"（parsec）是视差等于1弧秒的距离。实际上没有一颗恒星有这样近的。要得到以秒差距为单位的距离，以视差除1。半人马座α星的距离因此便是1.3秒差距。

"光年"（light-year）是光在一年之间所行的路程。以千米数表示，光每秒速度299 792千米，用一年所有的秒数（约为31 600 000）来乘，约9.5万亿千米。一秒差距约等于3.25光年。半人马座α星的距离是4.3光年。

最近的比邻星（proxima）比半人马座α星近3%，离太阳4.17光年。这是一颗望远镜中可见的10等星，在天上的位置离半人马座α星约2度多，大概与那颗亮星有物理的关联，碰巧在对着我们这一边的，依远近次序排的星表中的第三、第四、第五颗星都是望远镜中的星。假如我们不曾说过恒星的真实亮度大不相同的话，这最近的五颗星中竟有四颗肉眼看不见，就不免会使我们吃惊了。

全天最亮的天狼星是这表中的第六颗。它的距离是8.8光年。它这么亮的原因一部分是由于离得近，但只是一部分原因，因为它自己的光辉本来就有太阳的26倍。最明亮的恒星中还有四颗距离在30光年以内的。依远近次序说是南河三、河鼓二、织女一、北落师门。

直接视差测量法对于知道附近恒星距离是非常有效而且极有价值的。约有两千颗恒星视差是这样求得的。但这种方法的精确性随着距离的增加而渐减，到约200光年距离外，我们从地球轨道两边所见的恒星方向的变动就小得不能为今日望

远镜确切察出了。既然我们的基线太短，只要可能，当然是再找一根很长的了。说起来倒颇有趣味，在冥王星上的天文学家（那颗行星的轨道要比地球宽大 40 倍）可以用直接视差测量法测得 8 000 光年的距离。然而即便是这么遥远的路程在众天体存在的大空间中也只是一步之遥罢了。

太阳的运动

我们要选择一更长的基线，以便观测更远的恒星方向的变动，结果引出一问题：地球是否还把我们带回环绕太阳以外的某一地方去呢？答案是读者已经知道了的，但为什么更长的基线还不能用来测定距离却未必是已经懂得的。

三百多年以前，天文学家得到结论，认为恒星也并不固定却是在空间中运动着的。这种事实最后由哈雷揭穿，时值 1718 年，这位以其彗星为我们熟知的著名天文学家观测到了一种情形，便是有几颗亮星在从托勒密（Ptolemy）制恒星表以来的 1 500 年内确曾移动了位置，移动量约与月亮的直径相仿。既然恒星是运动着的，而太阳又是恒星之一，太阳也一定是对周围恒星来说处于运动之中了。

威廉·赫歇耳在 1783 年第一个测定太阳运动的方向。他推论如果太阳（当然全行星系统也在内）在空间中沿着直线运行，那么恒星一定看来仿佛向相反的方向移动。恒星的这种“视差动”（parallactic motion）是和它们的“本动”（peculiarmotion）相混的。但大体说来，在我们前面的星一定要从我们运动方向那一点向四面散开，而在我们后面的星又一定要向那天上反对的一点聚拢。赫歇耳将前面一点，即所谓“太阳向点”（solar apex）置于武仙座中，离天琴座中的织女一不远的地方；而以后的研究也把这一点放在那附近处。

恒星的这种视向后运动只告诉我们太阳向哪一方向运动，却未告诉我们其运动的速率。这要等分光仪出来答复的。我们已经知道，恒星光谱是一道彩带，上面通常有暗线亘于其中。按照多普勒（Doppler）发表而后经斐索（Fizeau）特别补正的原理，光谱线告诉我们恒星如何在视线中运动。如果恒星是相对的靠近来，其光谱线便向紫色一端移动；如果它向后退去，光谱线便向红色一端移动。这移动的多少随其运动速率而增加。

显然的，太阳系运动方向的那一区天空上的星都一致的要以最大速度靠近来的，在天空另一相反方向的星也就仿佛要以最大速度离开我们。根据研究全天恒星光谱30年而今由里克天文台天文学家完成的结果，我们得到了关于太阳运动及测定其运动速度的更进一步的知识。

从我们周围的恒星一方面讲，太阳系是向天上十分接近武仙座O星的一点运动，其速率是每秒19.8千米。从这些恒星方面讲，地球便是在螺旋线中运动，一方面环绕太阳、一方面分担太阳的前进运动。

地球在其追随太阳的运动中，带着我们经过其轨道两倍的距离。所有的恒星向后移动的量都比它们由地球绕太阳而生的移动加1倍。一世纪中便大了200倍。乍一看这由太阳向武仙座运动而生的基线，似乎可满足我们测量恒星距离的要求了。视差移动由恒星距离而定，由其总量可得到这距离的大小。然而不幸我们平常并不能确定我们观测得的移动有多少属于视差移动，又有多少属于恒星本身的移动，因而也不能利用这方法成功量度恒星的距离。这种方法决不适用于单个的星。

恒星的绝对星等

恒星正如我们所观测是在光度方面大相歧异的。假如恒星都有同等的实际亮度——假如它们在同距离地方都同等光明，那么天界的距离就只是一个简单的问题了。我们暂且依这假定来考察两颗视亮度不等的星。较黯的星必是较远的一颗，因为一光点的观测得的亮度正与其距离的平方成反比，所以我们也便很容易测定较黯的星比较亮的星远多少了。但是我们知道恒星并不是同等的明亮的。我们的问题便改成了下面的一句问话：我们能不能有办法确定一颗不知距离的恒星的绝对星等呢？如果能，我们便很容易由其绝对亮度与观测亮度之差求出它的距离来了。最近的发现使这种方法有了可能性。我们先辨认一下何谓“视星等”（apparent magnitude）与“绝对星等”（absolute magnitude）。

约在两千年前，古代天文学家将肉眼所见明星分为6等，依亮度大小为次序。1等星中包括约20颗亮星；不在最明亮之列的显著的星（其中有北斗七星之六星）划为第2等；如此继续推到6等，这便是肉眼仅能看见的星了。这便是所谓“视

星等”，指观测到的亮度而言。

在望远镜发明之后，星等便一直伸张到望远镜能及的暗星了。暗到 21 等的星也可以由 2.5 米望远镜望见。分等的办法也改得精确了，定律是两等星之间的准确比例为 2.512 倍。因此 1 等星的光度恰为 2 等星的两倍半。有几颗非常明亮的星光度太大也就必须重新编等了。例如织女一便成为 0 等星，而全天最亮的恒星天狼便是-1.6 等。太阳的视星等是-26.7 等。

以上是肉眼直接观测或肉眼在望远镜前观测的“目视星等”。目视星等相同而颜色不同的两颗星通常在照相底片上红色星要暗些。“照相星等”与目视星等不同，尤其是在红色星一方面。此外还有其他星等系统，依所用工具而定。

绝对星等是一颗星在恰好 10 秒差距处——那儿它的视差将是 0.1 弧秒——所应有的星等。于是心宿二的绝对星等便是-0.4，天狼的是+1.3，太阳的是+4.8。在 10 秒差距的标准区域，心宿二将相当于最亮时的金星，天狼将是一颗 1 等星，太阳则为一暗星。

简单计算一下就可知道，如若太阳到了 20 秒差距以外（约相当于 1 等星毕宿五的距离），就不能为肉眼所见。如若太阳到了 6 300 秒差距或 2 万光年以外（比武仙座球状星团的一半距离多一点），就算最大的望远镜也看不见它了。

要测定那些出了直接视差观测范围的遥远天体的距离，现代的方法是确定其绝对星等。而确定还不知其距离的星的绝对星等的方法，我们现在可提出两种来说：其一是利用对恒星光谱的特殊研究，二是利用造父变星的观测。

利用分光仪得出的距离

平常我们并不以为分光仪是测量距离的仪器，它的用途首先是分析光谱。但在 1914 年威尔逊山天文台的天文学家却发现了一种方法，可以从光谱中某些线纹考察出恒星的绝对星等。同时，数千颗星的“分光视差”（spectroscopic parallaxes）也在这天文台和其他天文台求了出来。

在前面说光谱序的时候，我们曾指出这种由蓝星到红星的次序是从渐次降低的表面温度而生的。正如同铁的沸点比水的沸点高，恒星大气中的不同化学元素

也各在不同温度中最有效地吸收其特殊线纹花样。于是花样便随着光谱序而改变。所有同谱型的恒星都有相差不多的表面温度，因此也在光谱中有相差不多的线纹花样。

此外还有一要件我们直到现在还没有注意的，这便是压力。正如同水的沸点当压力减少（例如在山顶）便要降低一样，化学元素也在压力较小时能在较低温度中同样表示其光谱线。而某一谱型（例如 MO）的星的表面压力是按图 43 中向上升（即向更大的星算去）而减低的。要保持同一线纹花样，温度便也逐渐减低。于是稀少的红巨星就比主星序中的红色星要冷一些了。

这种温度与压力的调和并非对于所有化学元素都有同样影响的。一方面花样相差不远，一方面有的线渐渐增强，有的线却渐渐减弱。上述的方法就支持在这种关系上。考察一颗恒星的光谱中这种敏感的线的强度，结果便可以说出这颗星的绝对星等，由此也就可以知道这颗星的距离了。

造父变星的距离

我们已经知道造父变星是很规则的变光星，其变光周期由几小时到几星期不等。它们有两大类：星团造父变星周期约半日左右，标准造父变星周期大半在 1 星期左右。前者是蓝色星，后者是黄色超巨星。两者的变光程度都约有 1 星等，而且颜色都随亮度变化。大家相信它们都是脉冲星，但现在我们要论的它们的价值却与任何牵涉到其变光原因的理论毫不相干。造父变星由于其变光周期及绝对星等间确立了的关系，遂在考察宇宙一方面占了极其重要的地位。

这种关系是经哈佛天文台的勒维特女士（Miss Leavitt）在 1912 年第一个注意的。她在研究小麦哲伦星云（这是在下一章中就要详说的遥远的星的聚集）的造父变星时，发觉了变光周期很简单的随着星的视星等增加。因为这星云中各星相互间的距离之差比起全群对我们的距离来小得多，这些星的视星等间的关系也就和它们的绝对星等间的关系差不多了。数年以后，夏普利（Shapley）把这种关系弄得更详密。他画一曲线表示周期如何随着平均绝对星等而增加。平均星等就是说一颗星的最亮时与最暗时的平均等次。

如果变光周期是半日，平均绝对照相星等便是0；如果是一日，星等是-0.3；十日是-1.9；百日是-4.6。这便是这曲线中的几个数字例子，这可以应用到任何地方的造父变星上。不论它有多么远，进行方法也极简单。先找到一颗变光依我们前述特点的造父变星。每夜观测它，将它的变化周期测定。从那曲线中找出相当的绝对星等，再从观测中确定其平均视星等。于是根据这两者算出其距离。

这方法的第一步是找到造父变星。可是这种变星是很稀少的，也许100万颗星中只有一颗是可以应用那曲线的标准造父变星。幸而黄色造父变星是超巨星，是在绝对说来的最亮星一类之中的。我们可以在极远处见到它们，甚至百万光年以外还一定可见。它存在于我们银河系的各部，在本系边界上的球状星团之中，而在银河外的其他星系中也有。不论何处发现了造父变星，它的距离就可以测定，而它所属的大团体的距离也因之可定了。

球状星团中的造父变星对于发现距离也同样有用。对它们的较短周期而言，夏普利的曲线成为在绝对星等零等处的水平线了。这便是所有这一类变星的值。测定它们的距离甚至比前面的方法还要简单些。就是凭借造父变星以及其他发现绝对星等的方法的帮助，今日的天文学家才能考察我们周围的恒星系统以及这以外的更远的别的星系，而考察的精密程度在数年以前还是要认为不可能的呢。

第四章　恒星系统

恒星在选择长途旅行的伴侣一方面和人类有些相似。有的单独沿直线前行，不变速率，实际也不受他人影响。有的成双成对地旅行，或者并肩携手，或者互相旋绕永无休歇地跳舞。这一种便是“双星”（binary stars)。还有一些集成小群，这便是“聚星”（multiple stars)。还有一些集成大队，便是“星团”（star clusters)。不过不论它们是单人也好，是结伴也好，它们都被包括在星辰社会中的各大区之内，那便是“星云”（star clouds）或称“星系”（galaxies)。群居正是天体的显著的特征。我们考察一下这些恒星相聚的各种系统。

目视双星

北斗柄的中间一颗名开阳（Mizar)，是著名的双星。很小的望远镜也可以把它分为两颗光不相等的星。这事实远在 1650 年就已有记载了。以后又有一些别的星肉眼看来是一颗、用望远镜看来成为两颗的。但当时并无人理解其中意义，也几乎没有人注意它们。不错，我们可以想象以为在全天这么多星中，当然常有两颗虽相离很远却在很逼近的一方向，因此会看成一颗的。但是略一计算便知道这种“光学双星”（optical double stars）要比观测到的双星少得多的。因此看来大概它们便真是连在一起的了。这一对之间相距的角度愈小，它们有物理联系的概率愈大。望远镜中发现出的这种双星称为“目视双星”（visual double stars)。

大部分的目视双星都相并而行，并不见有互相旋绕的情形。有许多其余的星却是相旋绕的系统，正如同地球和太阳，不过两者之间的距离和旋转周期都更大罢了。小马座 δ 星就是以最短的周期——不到 6 年——而著称，其两颗星间的距

离比木星到太阳的距离还要小。其他旋绕系统的例证有半人马座 α 星，周期约 80 年，两者平均距离约比天王星到太阳大些。还有北河二（Castor），两星相绕周期约 300 年，平均距离约为冥王星到太阳的两倍。实际上河北二是第一个被发现有回绕的双星系统。威廉·赫歇耳在 1803 年就注意到两颗星间的线，从在他约百年前布拉德利（Bradley）的记录看来，确曾改变了方向。这发现是很要紧的——之前的天文学家，连赫歇耳也在内，都只把望远镜中双星当作视双星的——这时才看出来其中至少有一些是实际的物理的系统了。从此开始了对于目视双星的发现与研究，这工作一直很有力地继续到现在，而近来一直伸展到了南天极区域，那儿是早期观测者大半看不到的。

里克天文台的艾特肯（Aitken）是公认的目视双星研究的权威。他把望远镜能充分看到的 9 等以上的星都逐一考察一遍。这工作进行中一大半时间都是他一人单独努力，直到 1915 年才告完成，结果发现了 4 300 颗目视双星。1932 年，艾特肯发表的距北极 120 度以内的已知目视双星表包括了 17 000 颗以上，他的结论认为，平均 18 颗 9 等以上的星中有 1 颗双星，按照南天的发现看来也是同样适用的。

这种双星的观测往往要在目镜地方换上测微计（micrometer）。这种仪器有一蛛网，可以移动得在视野中自身平行，还可以旋转，这都由精密的标尺来量定的。观测工作就是用测微计量出两颗星的分离角度和较暗星（称为较亮星的伴星）的方向。当这测量继续到伴星绕了一整圈或绕的路程已足表示其余的时候，就可进行计算轨道了。这相对轨道的要素有 7 个，例如大小、偏心率、交角等，这便可确定其轨道。但常常不能根据这些来确定轨道的哪一边对着我们。这些轨道对天的平面的交角是各不相同的。大致说来，它们都是比行星轨道更扁的椭圆。

大犬座、小犬座中两颗星——天狼与南河三是特别值得注意的目视双星的例子。它们都在离我们最近的恒星之列，距离分别是 8.8 光年和 10.4 光年，都有显著的恒星间的运动。一百多年前就确定了这两颗星并不走单独星应有的直线。它们的路线却反而是波状的，这就证明它们都有一颗较暗的伴星一面旋绕一面前进了。正和海王星一样，也许正和冥王星也一样，这两颗犬星的暗伴星也在并未见到时就确知其存在了。天狼的伴星第一次用望远镜见到时在 1862 年，南河三的伴星直到 1896 年才看见。

分光双星

正像有许多星在肉眼看来是一颗而望远镜却能分成两颗一样，还有许多在最大望远镜中也只看成一颗却被分光仪分开了的。除非是那环绕的轨道平面对着我们，否则那一颗星便要有时接近我们有时又远离我们的。当它接近来时，其光谱中的线纹便向紫色一端移动；当它离远去时，线纹又向红色一端移动。这就是著名的多普勒效应。于是一颗恒星的光谱中线纹的规则的来回移动，如果不能归之于地球的公转的话，便证明这颗星属于“分光双星”（spectroscopic binary）一类了；而来回移动的周期便是其回转的周期。如果那颗伴星也有相当的亮度，光谱中就也会有它的线纹。如果两颗星都属同一谱型，这两相似的花样就以相反的情况来回移动，因此有时线纹是双的，有时却是单的——当它们两者相重叠的时候。

北斗星中的开阳又是第一颗被认出的分光双星。这真是稀奇得很的事，因为它也是目视双星记录的第一颗。1889 年首先在哈佛天文台看出这一对目视双星中较亮一颗的光谱，在有的照片中是重复的，另一些照片中又是单的。这两颗星却不能用望远镜分出来。它们在 20.5 日的周期中互绕一周。它们的平均距离约比天王星到太阳的距离远一点。

同时又发现了 1 000 颗以上的分光双星，其中有几颗最明亮的星例如五车二、角宿一、北河二。五车二含有两颗差不多亮度相等的黄色星，周期为 102 日。角宿一的两颗蓝色星相距更近，其旋转速率为每秒 130 千米和 210 千米，约 4 日一周。望远镜分出的北河二的一对星，每颗各是分光双星，肉眼看来是一颗的总共有四颗星。这种双星就有很多的变化了。其中有的几乎连在一起，周期只有几小时。又有的要数月才能一周，竟似乎可以由将来的大望远镜分为目视双星。

许多双星的光谱中有三条暗线不随其他线移动。这些便是夫琅和费谱线的紫色中的 H 及 K 钙线，和黄色中的双 D 钠线。有人相信这些暗线是在星光到地球的途中被空间中极稀薄的气体吸收了的。

双星是非常之多的。大概每四颗星中就有一颗是双星或聚星。有的天文学家竟持一种观点，以为像我们的太阳之类的单个恒星是居于少数地位的。关于恒星本性的完满的叙述也许会告诉我们何以有这么多双星的。双星形成的分体学说受到不少的注意，这学说认为一颗星可因迅速旋转而分裂为二颗。甄思还想象着造

父双星的脉动也起因于分体的过程中。这两颗星一分体，便成为接近的分光双星。由互相吸引的浪潮的力量，这分离和旋转周期可以增加起来，但又不见得能增加到成为相距那样远的目视双星的地步。

暂把这些论调撇开不管，双星系统的最主要的价值在于能借以测定恒星的质量。目视双星的这一方面的算法又异常的简单。以弧秒为单位的两颗星间平均距离的立方，用以秒为单位的视差的立方与以年为单位的周期的平方的乘积来除，便得出两星质量之和。这种质量以太阳质量为单位来表示。我们已经说过，单个的恒星的质量与太阳质量比起来是相差不远的。不错，如果我们把后者作为这法则中质量的和（这要依双星的种类而有增减），再计算双星的视差（称为力学视差），便可得出相当准确的距离。

食双星

如果分光双星的轨道正以边对着我们或两星距离极近时，便是“食双星”或“食变星”。这一大群星中最先发现的英仙座中的“妖星”Algol（大陵五）同时也是最著名的。这颗星的变光周期非常准确地每隔约 2 日 21 小时一次。在两天半的时光中，大陵五的亮度并无变化，只有最精密的测量才能发觉一点变动。以后的 5 小时内就渐暗下来，直暗到只有平常亮度的三分之一。再过 5 小时，它又恢复常态了。

在这显著变光的 10 小时内，这颗亮星是被其暗弱的伴星食去了一部分。我们知道这是偏食，因为它光的恢复立刻接着其衰落。假如是全食的话，光会当全食时保持其最小光度的。假如是环食的话，就是说，假如前面的恒星完全投影在后面星的圆面上却又不完全遮掩的话，也会有经常的最小光度，而光的衰落与恢复性质也有点不同。其他的食双星有的是全食和食蚀的例证。

在两主要食相隔的期间中，光也并非经常不变。有时其变化也很显著，尤其是约近一半，当暗星被亮星食去的时候。除了食之外的变化便是两星的不成球形。一方面它们因自转而得两极的扁化，一方面它们又互相对着起浪潮而呈长形。

在食双星的变光全过程中精确测量其光度，特别又加以观测其光谱，这两颗

星及其轨道的一切就差不多完全可以由此而知了。这样算出的恒星大小与形状是有最大价值的数据（data）。大陵五以外的肉眼可见亮星中，是食双星而变化程度又大得容易观测的有：天琴座β星、金牛座λ星、武仙座U星、天秤座δ星。

蚀星系是分光双星的特殊情形，其轨道都差不多以边对着我们。若从恒星系统的其他部分看来，这些星便会毫无变化，而别的我们看不出变化的相近的双星却会因交蚀而生变光的。

星团

星团并不是天界路程中的偶尔的聚集。它们都是在一起很有秩序地旅行天空的星群。它们有两类：一是“疏散星团”（open clusters），有时叫做“银河星团”（galactic clusters），因为它们都集中于银河内；一是“球状星团”（globular clusters）。

在几个较近的星团中，最明亮的星都很可为肉眼所见。昴星团（Pleiades）——或称七姊妹——便是这种情形。那是7颗肉眼可见的亮星在秋冬的夜空上形成一把短把的勺子。锐利的眼睛可以从这星团中看出9颗或10颗来，但望远镜中却可以看出更多。昴星团的南边又有一显著的疏散星团，也属于金牛座，便是毕宿星团（Hyades）。这是指示天牛之头的V形的一群，其中还有红色亮星毕宿五，虽然这亮星并不确属这星团本身。

疏散星团的团员都在空间中有一致的行动。但其中有的却离得很近以致可以明察出它们的运动，这些称为“移动星团”（moving clusters）。毕宿星团便是一个很好的例子。这V形星群（除开毕宿五不算）及邻近的星都一致趋向东方，它们的道路并非恰好平行，却正像远远望来的许多道路一样向远方聚集，这又表示它们还在退后。约百万年前这星团离我们约65光年，现在已加了一倍远了。不到亿年以后，这星团要挤缩成望远镜中的一个暗淡物体，到离猎户座红星参宿四不远的地方去了。

我们现在正处于这样一个移动星团之中，但我们的太阳并非其中的一员。这星团中的一部分出现于北天，形成北斗，但要除去柄末一颗和指极星的上一颗。到南

天有天狼，天空其他部分还有些散得很远的亮星，都属于这一星团。过许多时候以后，它们就要把我们丢在后面，远远离开成为一个疏散星团的平常的状况了。

有些疏散星团在肉眼看来像一块雾斑，也叫“蜂巢”的 Praesepe （鬼星团）便是著名的例子。它在狮子座的镰刀形两边一点，属于黄道带中的巨蟹座。连一架望远镜也可以将这黯淡的光斑分析成粗略的星团。另一块云状光斑正在银河中，属于英仙座，离仙后的宝座也不远。小望远镜可以看出那儿有两个星团，这便是平常所称英仙座双星团。我们用望远镜顺着银河找过去的时候，还会遇见别的一些美丽的疏散星团。我们也许可以想到这些团中有些最近的看起来还远在天上这道光带以外的。在狮子座与牧夫座之间的后发座星团靠近了银河的北极。

对于测量远近极有价值的造父变星和星团变星却没有在疏散星团中发现。事实上在任何这类星团中也没有发现任何变星。天文学家想出了别的方法来测定这些星团的距离。里克天文台的特兰勃勒（Trumpler）测出了 100 个以上星团的远近和大小。顶奇怪的是这种星团的直径好像跟着它们到地球的距离一同增长。

这一类事实的有系统的结果必须加以解释。我们是不大能够相信地球竟有这样重要，能使那些星团很整齐地对它排列起来。看起来大概这种大小的逐渐增长，可以归之于观测或计算的特殊情形。测量距离的时候，大家认为空间中是完全透明的。假定其中充满了十分稀薄的雾，于是远处星团透过这重介质便要显得暗些，因而也显得比真实距离远些了。要补足它所成的角度，它的大小也就更大得多了。而这修正的结果就一定要使更远的星团变得更大。

特兰勃勒为了解释疏散星团的测得距离的不断增长，假定有一层几百光年厚的吸收物在银河平面上。对于距离 3 000 光年的一颗星，完全透过吸收层去看它时，亮度要减少 50%。这种层对于位置离银河远的天体没有什么妨害。集聚在银河平面上的疏散星团可就显然受了影响了。因此那些形成银河的星云也必受其影响。透过这层雾状介质去看时，它们都要显得比较暗，因此也显得比真实距离远得多了。整个银河系于是便从通常承认的直径约 20 万光年缩小到只有约三四万光年了。以上是特兰勃勒根据他的疏散星团的研究而得的结论，这结论却还必须仔细的研究一下。

球状星团

第二类星团包括较大且较壮观的球状星团。这种大的恒星的球离开了银河本身积聚的区域，它们的位置在我们系统的边境上，那儿的星本是很稀少的。这系统中已知者有 121 个，有 10 个在麦哲伦云中发现。

最近最亮的球状星团是半人马座 ω 和杜鹃座 47 号（47 Tucanae），两者都不能被北纬中部的观测者所见。它们的距离约有 2.2 万光年，现成云状的 4 等星，因此可为肉眼看见。望远镜中看出它们都是恒星集成的球，确定是略扁的球，这证明它们正旋转着，两极略扁，正如地球。长时间曝光的照片示出它们有几千颗星，不过中心部分聚得太密，计算不大可靠。

武仙座大星团 M13 是北纬中部有望远镜的观测者能见的最美的球状星团。它约在夏末的傍晚差不多从头顶上经过。把武仙座看成一只蝴蝶，可以在从蝴蝶头部到北方翼端三分之二处发现这星团。最合适的时候，它也可仿佛为肉眼所见。但是用望远镜看来，尤其是看起望远镜拍摄的照片来，这才真是壮观。

这星团距离我们有 3.4 万光年，因此只有其中的较亮的恒星可以看出来。不比我们太阳更亮的星在那中间便是用最大望远镜也看不见的。可看见的却已有了 5 万颗——比肉眼同时在全天上能见的星数多出 20 倍。武仙座星团的团员全数一定要在数十万以上的。最密的部分直径约有 30 光年，星团中大部分的星都在 70 光年的区域以内。在和太阳周围同样大的空间之内，数量却要大得多的。如果我们住在这星团的中心部分，我们的天空星座定会比现在格外光辉多少倍的。



图 45 武仙座球状星团

夏普利在威尔逊山和哈佛研究球状星团的结果，把它们的距离都定得大致可靠了，约从 2.2 万光年到 18.5 万光年

之间。这些星团离开了银河的中央平面，但它们却很匀称地分配在其两边，这便表示也和其中星云的系统有连带关系。球状星团分布于20万光年直径的空间之上，这空间的中心离地球约5万光年，正在人马座的方向中。如果我们假定这些星团构成了银河系的大轮廓，那么我们这系统的直径便是20万光年，而其中心便在人马座的方向中，离我们在5万光年以外。

银河中的恒星星云

北纬中部观测者所见的最美的一部分银河，要在夏末和秋天的傍晚来看。它正像一道发光的带子从东北到西南横过中天。在晴明无月的夜间，在没有人工的光搅扰的地方，这正是肉眼所见的最动人的景色之一。

我们从东北方地平顺银河之流上溯，便经过英仙座、仙后座、仙王座，到北方大十字区（天鹅座），这儿在秋初傍晚已近天顶了。银河由此分为两支流平行下去，一直分支到南十字座。这种大分支和其他小分支都不是银河真分裂了，却是一些黑暗的宇宙尘云把外面的星遮住了，这在下一章中我们要更为详细说明的。

从天鹅座向南，西支流渐暗，但在到地平之前又亮了起来。东支流经天鹰座时更亮，过这星座以后便聚集成为壮观的盾牌座（Scutum）和人马座的星云了。此处与附近的蛇夫座和天蝎座的区域都是十分容易注意到的银河区，不管我们有望远镜也好，或只有肉眼望去也好。用短焦距望远镜拍摄的照片很清楚地表示其详细情形。巴纳德拍摄的此处及北纬中部可见的银河其他处的照片都是最美丽的。他用25厘米的布鲁斯望远镜在威尔逊山拍摄了一部分，又在叶凯士天文台完成了其余的工作。

在南方地平线下，银河经过了半人马座，在那儿分支才告结束，又经南十字座，那儿离天球南极最近。以后又往北去，在我们的冬季天空现成一道宽的河流。这一部分银河不如夏季看见的一部分明亮，而且也不那么显著地聚成星云。在农历十一月这河流经过两颗犬星和猎户座，经过双子座和御夫座（已近天顶）再入英仙座。

从银河中我们见到的是我们银河系的星云在天上成一圆圈的投影。显然这通

过此发光带中心的一道圆指示了这扁平系统的主要平面。我们的问题便是据此投影绘出一幅该系统的全图。在下一章中，我们要说到描绘此图的进步，还有天文学家到此系统疆界以外探查所得的河外星系的发现与研究。

星云，不论是明的还是暗的，都在银河系的构成中占重要的地位。我们最先要注意到我们本银河系中的星云。

第五章　星云

从前，除了银河中的星云以外，所有天上的暗淡的光斑都叫做“星云”。其中有几个可以为肉眼所见，用望远镜看来却又发现了无数。赫歇耳氏一家的几个天文学家（有约翰·赫歇耳、威廉·赫歇耳及卡罗琳·赫歇耳女士）对于许多星云做了发现、记录、编排等工作。

有的星云有特殊名称，例如猎户座大星云、北美洲星云、三叶星云（Trifid Nebula）。较明亮的星云的名称常常用梅西耶（以发现许多彗星著名的）做的103星云表中的编号。从一个用小望远镜的观测者看来，这些物体很容易被误认为彗星，例如M31（在仙女座中）。不过星云现在大概都用德维尔（Dreyer）的新表（New General Catalogue）中的号数了。那星表共有两部，中含13 000个星团和星云。仙女座大星云是NGC 223（新表223号）。

早期天文学家的关于星云本性的意见各人大不相同。康德（Kant）揣测它们是遥远的星系——岛宇宙——得到很不错的结果。威廉·赫歇耳的结论是说其中有一些本性并不与恒星相同，却是一种发光的流体。拉普拉斯的著名的星云假说以为太阳系便是由一团气体星云凝缩而成的。但是认为星云为气体的观念却似乎被更大的望远镜所否定了。能分析成一些恒星的星云越来越多了。到19世纪中叶，罗斯爵士的1.8米反射望远镜——当时及后来许多年中的最大望远镜——非常有效地把所谓“星云”的云显露为遥远的聚集的星。

然而并非所有星云都是恒星的团聚。英国的哈金斯（William Huggins），在天文学中应用分光仪的先驱者，确立了赫歇耳以为有的星云是“发光流体”的推测的真实性。在1864年哈金斯把他的分光仪对着天龙座星云观察，见到了一种明线的花样——这正是一种发光气体的光谱。现在已真相大白，知道有一些星云是气体的了。但还有一些星云虽有近似恒星光谱的暗线花样，却并不能解释为恒星团

的痕迹。星云中依然有些尚待解决的神秘之处。

所有我们银河系中的星团现在都已显然与星云区分出来了。此外，最近的研究证明许多从前认为是星云的物体实在是远在我们银河以外的遥远的星系。严格说来的星云，在我们的银河系中以及在河外星系中的都算在内，大致分为两大类：明的和暗的弥漫星云、行星状星云。

明亮的弥漫星云

猎户座大星云（图46）是最著名的明亮弥漫星云。肉眼看来，它是猎户佩刀三星的中间一颗，在腰带较亮三颗星的稍南一点。用望远镜视察时，它是一块粗略的三角形的发微弱光辉的物质。表面看来，这星云面的距离约为满月的二倍。实际上却是10光年——一块极大的云。用大视场透镜并经长时间曝光拍摄的照片中，可以看出全猎户座的大部分都被一层更暗的星云所笼罩。

人马座中的三叶星云是明亮弥漫星云的另一个好例子。乍一看来，也许要以为它分成三片或三片以上，因为有宽阔的黑暗的裂纹在上面。那些实际上是许多暗星云，常常和发光物质连在一起的。昴星团中的最亮几颗星都裹在云中，使这星团的照片增加很多趣味，不过肉眼从望远镜边看来，平常还是只看到一些星。常常，照片中很触目的星云在最大的望远镜中也绝不能为视神经所感觉到。

北美洲星云便是如此。海德堡的沃尔夫给它起这名字是因为它像北美洲。它的位置在天鹅座中北十字顶上亮星的近旁。它是照片中触目的物体。同星座中还有一卵形环状星云在逐渐膨胀。于是引出了一种揣测，以为这是一颗恒星爆炸的结果。如果这解释是正确的，如果它的膨胀率不曾改动，这新星的强烈的爆炸必曾发生于十万余年前。这环中最亮部分称为网状星云和丝状星云，都有与其名称相应的结构。

这些都是明亮的弥漫星云的例子，在望远镜中尤其是在照片中发现了不少这类星云。它们都在银河以内或附近，也在外银河系中。事实上已知的最大的这类星云在银河本身以外，这便是大麦哲伦云。称为剑鱼座30号（30 Doradus）的这星云的直径有100光年以上。

弥漫星云是极大的气体与微尘的云。它们在许多方面都使我们想到彗星的膜状尾部。其中物质散布的稀薄竟比实验室中所得的最好的真空密度还小。只是因为其云层异常之厚，才使我们能够看见它们的。假如我们住在北美洲星云中，我们平常是不能觉察到它的存在的。

星云的光

什么东西使这些星云发光？不用说这样稀薄的物质是断不能热得发光的。这个许多年来困扰天文学家的问题由哈勃（Hubble）给出了答案。这是他用威尔逊山的大反射镜充分研究星云的结果。星云之发光是借助于邻近的恒星。差不多每一这种星云的发光都可以由邻近或其中的星来负责的。而且，这颗相关的恒星愈亮，这云状光所及的范围也愈大。但星云的光也不全是简单的星光的反映，至少不是全体星云都如此。

分光仪的研究发现了星云的光与其相关星间的有趣的关系。所有的星（除了最热的）邻近的星云光都和星光相似。两者都有同样的暗线光谱，同样的暗线花样。昴星团周围的星云便是这种相似的例子。另一方面，猎户座大星云以及其他与最热星相连的星云的光却与此不同。它们的光谱是明线花样，不像恒星光谱。我们又可从这种关系得出什么结论呢？

天文学家关于第一类的意见并不完全一致，有的相信那些星云只是简单地反映星光。但是有明线光谱的星云的光显然不是星光了，不过其相关恒星仍然负着照明的责任。我们由此想到极光，那也并不是日光的反映。彗星的光也有类似的问题，我们的结论便是猎户座星云和其他类似者的发光同我们的极光是一类，是由于附近热星的影响。

许多年来，科学家都为星云光谱中的明线所疑惑。这些线中有的确凿无疑地是熟知的氢氦元素，它们中间并无神秘。但星云光谱中还有一些明线是在实验室中从来未见过的。难道能有地球上没有的元素存在于星云中吗？这种元素暂时便叫做“氞”（nebulium），正如同从前为太阳起了氦的名字一样，因为那元素也是先在太阳光谱中发现后证实于地球的。然而“氞”并不是一种元素。星云光谱中

这种使人疑惑的明线是由寻常的氧氮元素在该处的非常情形中产生的，那种情形却绝不能在实验中复制。因此这奇异的明线问题便算是解决了。

行星状星云

行星状星云与行星绝无相同之点。这名称是因为在望远镜中它们现成椭圆面。它们是很扁的球形星云物质，比行星大出极多，甚至比全太阳系还要大。扁的缘故是它们的自转，这由分光仪就可以单独证明。不错，有的也现成真正圆形面，但显然其中的转轴是差不多对着地球的。它们的自转周期要以千万年计。

现在已知的行星状星云有 1 000 多个。它们大概都有同样的大小，看起来大小不同只是因为远近不同。宝瓶座中的螺旋星云 NGC 7293 大概是最近的一个，看来约比满月的三分之一大一点。最远的用望远镜看都不见得能与恒星相区分，不过用分光仪却很容易把它们认出来。

行星状星云面上的明暗不同使它们各有特征。“枭星云”，在大熊座中，是最近的一个因而也是望远镜中最大的一个，得名由于它的两块黑色可以想象为枭的两眼。狐狸座中的“哑铃星云”的椭圆长轴两端黑暗（这倒是常有的情形），因此看起来像哑铃。行星状星云中有一个有点像土星及其光环，光环却几乎以边对着我们。其他的又有一些同中心的环。还有些有厚环，圆面中部便被遮住变黑了。

天琴座中环状星云是用中等望远镜看来最美丽的行星状星云。它位置在天琴座的南部，在蚀变星 β 及其邻星 Y 之间，是肉眼和小望远镜看不出来的。用大一些的工具看，它便像一块有些扁的发光小饼。在照片中这道环就现出复杂的细结构，中心还有一颗星。这中央星，一颗非常之蓝的星是行星状星云的特征，差不多没有例外，这显然是它们的光明来源。

至于行星状星云和其他天体间关系，我们现在还没有确切的知识。大概也可假想它们和新星有相类处，新星也和行星状星云一样很强烈的向银河集中。新星在最后阶段时与行星状星云的中央星并无不同，有的新星周围也见到有气体包裹。1918 年爆发的天鹰座新星四周就有一层云状壳，这壳层以每日 8 000 万千米的速率膨胀。

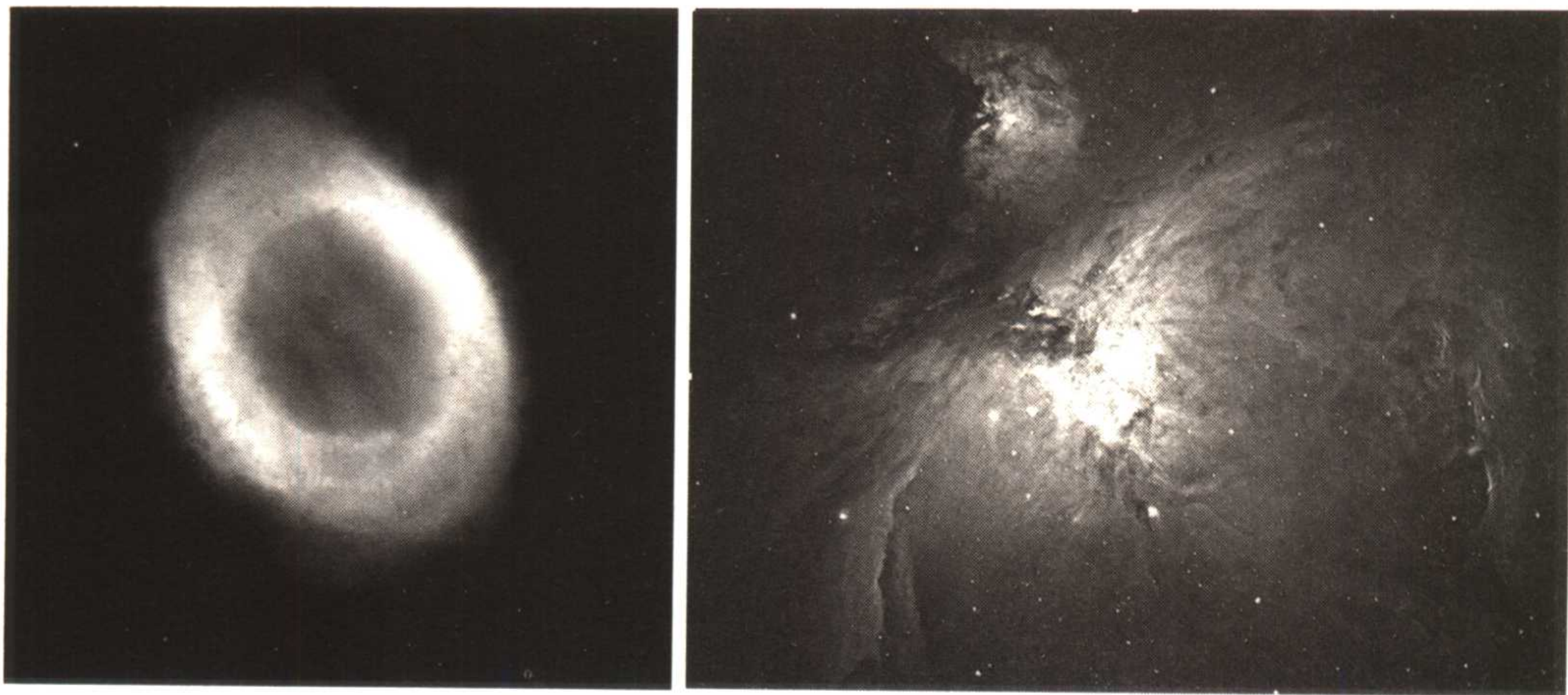


图 46 天琴座环状星云（左） 猎户座大星云（右）

暗星云

我们已经知道，星云之发光是倚仗着邻近的星。没有这种星的时候，它们便黯然无光，只因为把更外面的明亮天界遮蔽住，才使我们知道了。正像我们银河系中的明亮星云一样，这些黑暗尘云也强烈集中于银河部分。这是很幸运的布置，因为有天上那道明亮带子衬着，可以很清楚地看出它们来。

银河中最显明的这种“空白地带”是那一大道黑暗裂纹，差不多从北十字开始到南十字终结，把经过全天的银河的三分之一隔成两道平行的支流。北十字的北边有一道横过的裂纹很容易看出来。南十字的附近，有一黑块差不多和这十字一样大，其中只见到很少的星。这明亮的星云中的大洞很久以前便得名为“煤袋”，这是古代水手给它起的名目。

直到 20 世纪 30 年代，大家都认为银河中的暗处是空隙，以为由此看到了外面的黑暗空间。不用说这种解释是难于十分令人满意的。如果星云很厚，这些洞隙便要成为地道了。为什么这些地道要对着地球呢？这就很不容易解释。而且这些地道周围的星群都向各不同的方向运动，何以这些地道却永不见移动呢？叶凯士天文台的巴纳德便是首先认为这些裂纹是黑暗尘云的人之一。

要充分知道暗云的数目之众多与形状之复杂，只要去考察那些不难得到的精

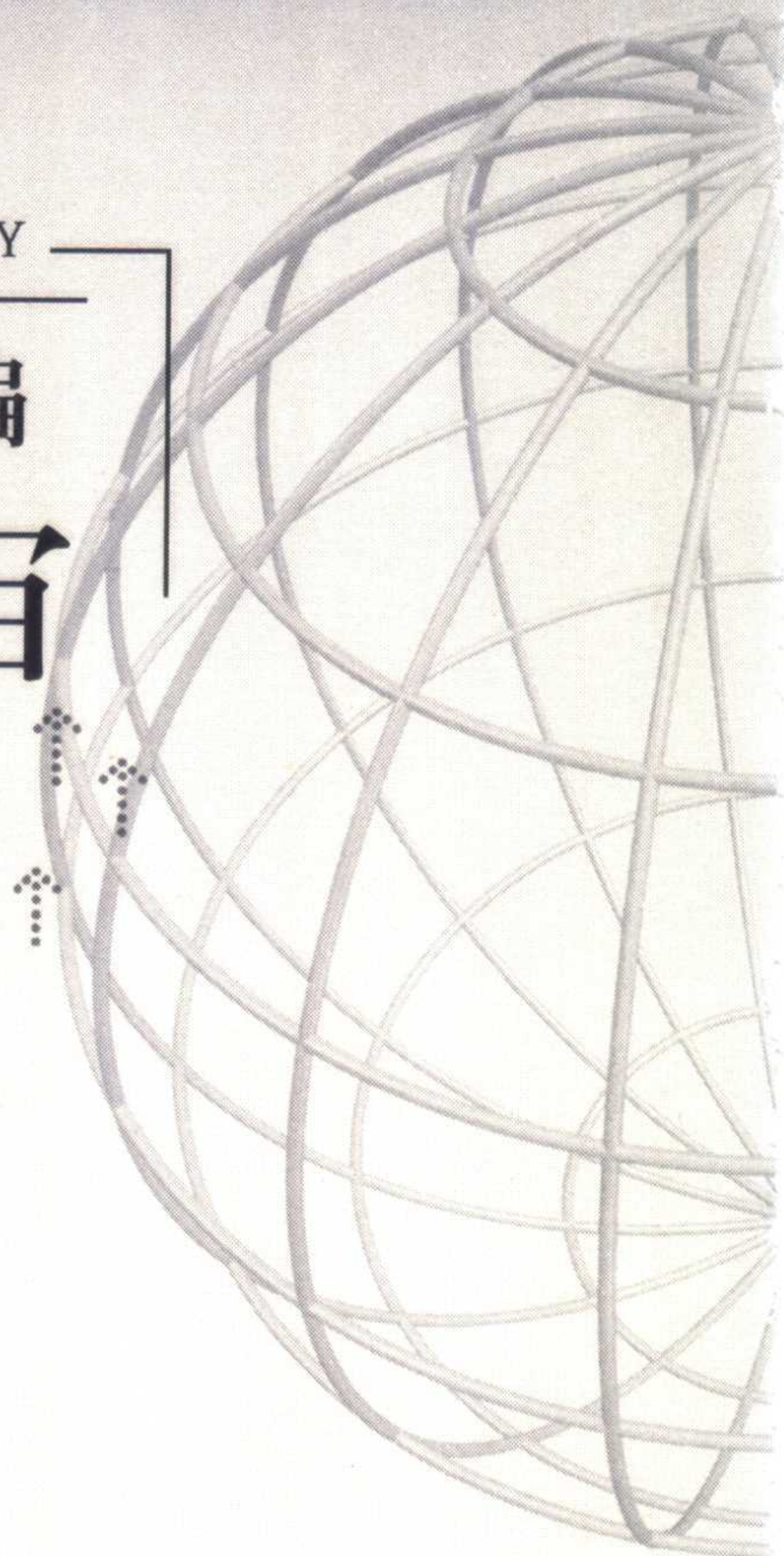
美的银河照片就够了。这条光河的全程中都充满得使人迷惑。尤其是在蛇夫座区域中，那儿有一些最惊人的形状陈列着。这种暗云的大多数都在我们的本星系中，离地球只有几千光年。在河外星系中也有，后面的章节中就要说到。

暗星云与亮星云一样是气体与尘埃的大云，它们或许也会含有较大的固体块。彗星与流星群也有相似的结构。确有人提出意见来，说环绕太阳的这些彗星和流星就是数百万年前太阳系经过一块暗星云时捡来的东西。

ASTRONOMY FOR EVERYBODY

第七编

星系与宇宙



第一章 银河系

我们在前面已经提到过星云了，例如人马座大星云，中心离我们有 5 万光年以外，还有较小较近的盾牌座星云。依夏普利的意见，这些星云都是“星系”(galaxies)，就是说恒星和星云的大集团。它们的平均直径有 1 万光年。有的小得多，有的却直径大出三四倍。

我们的太阳所属的星系就是银河系。这是一个约中等大小的很扁的集团，其中包括我们的星座中肉眼可见的亮星，中等望远镜中可见的数百万星的大部分，许多疏散星团，以及所有沿银河密集排布的明暗星云。从星系群的其他部分来看，我们的银河系便成为星云之一。在银河系中太阳是两千多亿颗恒星中普通的一颗，真正的中心是在 300 光年外南天星座船底座（Carina）的方向中。

这些星云几乎都聚集成一平面，在我们叫做银河系的超级系统中。过去两百多年间，天文学家曾试图精确测定这大系统的形状和大小。这系统的主要特色便是我们见到天上投影的银河。这问题很难，因为我们自身便处于这系统中，假使我们能从系统之外来望一眼，那就要简单得多了。这个困难从前更甚，因为在不久以前还毫无办法测定比环绕我们的天体更远的天体的距离。

研究银河系的构造有两种方法。第一种是在天上各处数相同大小的区域中的星，这星数便成了统计研究的数据。应用这方法的第一人是威廉·赫歇耳爵士，他数过他的望远镜能见的全天三千以上区域的星数。先假定某一方向星数多，便是某一方向星的范围广远，赫歇耳于是得到结论说，银河系的形状如磨盘，轴与银河平面成直角，直径按当时能用的比例尺是约 6000 光年。赫歇耳的系统太小，因为他的 48 厘米反射望远镜只能使他见到较近的星。这是第一次有计划的企图考察银河系。这种统计方法此后又应用了许多次，在望远镜与方法两方面都有一些改善后，这种计算现在是用在天空代表区域的照片上。最近的结果是由威尔逊天文

台的西尔斯（Seares）在1928年宣布。

第二种研究银河系构造的方法是测定全系统中各处物体的距离。很明显，如果我们得到了全系统中许多处的方向与距离，我们就可以造出一个代表它的形状和大小的模型来了。我们已知道不论何处出现了造父变星，就可测定其距离；而这种有用的星却散布满了整个银河系。凭借造父变星的帮助，又利用一些天文学家新近发明的方法，银河系的考察现在进行得很快，哈佛天文台和别处许多天文台都做这工作。现在我们对于大银河系统的形状和大小有差不多完全的知识了，但大家的意见还有一些分歧。

前面我们已经提到过球状星团系统的一个可靠的模型了。这些星团都对银河平面很对称地分布着，所包裹的空间直径约有20万光年以上。如果我们假定球状星团正做了银河系的轮廓，那么这系统的直径就有了20万光年了。其中心在人马座大星云的方向中。

因为有许多河外星系都是漩涡星云状，所以也很容易想象我们的也是漩涡式的。这样认定时，人马座星云便是这漩涡各支与中心核的连接处——我们的太阳系只是一支中的较小集团，约在从中心到边界的中途。

最近的观测证明银河系和远处漩涡星云一样旋转。我们既然在这旋转中，便也要以每秒320千米的速率运动，现在的方向是仙王座。这种证据大概可以用来支持那种认为银河系是一个单独漩涡星系的见解。如果是这样，它便是已知星系中之最大的，比其他中间最大的还要大五倍。这种相差很使人起疑。

大小麦哲伦云虽离银河很远，却比许多球状星团近。因它们接近南天极，北纬中部的人便看不见它们升到地平线上。大云约有8.6万光年远，直径有1万光年以上。小云略远一点，距离有9.5万光年，直径是6 000光年。两者都可以被肉眼看成天上的光斑。用望远镜看来便发现它们都包含恒星、星团、星云，以及其他所有的我们熟悉的状貌。在大小方面，它们也像银河中的星云。假如它们在银河平面的话，我们就无从把它们从银河星云中区分出来的。它们的运动也使我们想到它们是和我们的银河系属于同一星系群。

在赫歇耳开始做他著名的天界考察的前二十余年，英国的莱特（Thomas Wright）已发表一种学说，以为这大星系的形状像一平扁圆盘。哲学家康德在1755年发表更进步的意见，他猜想星云是我们银河以外的遥远的星系——依这见

解曾把它们叫做“岛宇宙”。但在当时，而且一直到不久以前，都没有方法测定这些物体的距离，因之也不能证实或否认这种见解。

从前叫做星云的模糊物体，除了已证明为星团的以外，很清晰地分为两大类。第一类向银河一带聚集，这些都是“银河星云”或者说是真正的星云，已在前章中叙述过了。第二类散布全天，只除却银河附近没有，因为那儿它们被暗星云和银河平面中其他吸收物质遮蔽了。这些星云——漩涡星云也在内，称为河外星云。

第二章　河外星系

关于河外星系的确切知识是由哈佛的夏普利在 1923 年开始的。他证明天文学家熟知为 NGC 6822 的星云比银河系的任何部分都远得多。于是至少有一个“岛宇宙”成立了。这一银河系距离有 62.5 万光年，和麦哲伦云相似。

第二步进展是赫伯尔为最近漩涡星云中单颗恒星摄影的成功。他用威尔逊山 2.5 米望远镜摄得的这些恒星照片中就发现了造父变星。它们的距离，因之连它们所属的漩涡星云的距离也一起在内，都可以测定了。必要的事只是要常常为这些漩涡星云摄影以便确定造父变星的周期。赫伯尔用这种方法进行以后，在 1925 年宣布了漩涡星云是远在银河以外的星系。

“仙女座大星云”是漩涡星云中最明亮的，也是其中唯一能被肉眼清晰看见的。在秋冬的夜晚天空上，每一个熟悉飞马座大正方形的人都容易找到它。且假



图 47
仙女座大漩涡星云

想这正方形是一勺子，勺柄向着东北。在勺柄第二颗星的东北一点，这大漩涡星云在肉眼看来便呈现为天上的长长的微弱光斑。用望远镜也看不出它的构造，可是照片中却很清楚地表示了出来。这是一平扁星云，它的边向我们约作 15 度的倾斜，肉眼看见的明亮核周围还有较暗的盘。仙女座漩涡星云的距离是 80 万光年。这是巨人星系。

在邻座三角座中，最近的漩涡星云 M33 差不多不能为肉眼所见了。虽然这星云比仙女座星云近了百分之五，它却更小些，因此也更暗些，它的直径是 1.5 万光年。三角座漩涡星云比较以平面对着我们，因此它的构造显得很清楚。从核的相反方向伸出分支向同一方向在同一平面上弯曲。

估量起来，约有 200 万河外星系亮得可以为 2.5 米望远镜看见，其中大部分都是漩涡星云，它们的距离从不到 100 万光年到 1.5 亿光年。漩涡星云的直径平均约从 5 000 光年到 1 万光年，这要看它们弯曲得紧不紧。它们对我们的状况也互不相同，有的以面对着，如北斗附近的猎犬座的漩涡星云，有的以边对着。

以边对着我们的漩涡星云像个纺锤。它的特色是一道暗带顺着纺锤，有时仿佛已把它分为两半。漩涡星云的这种中部暗带使我们想起我们自己的银河系中的黑暗尘云，尤其是银河中那道长的暗裂纹。用分光仪考察时，这些多少以边对我们的漩涡星云都在旋转着，正像我们由其平扁而推测的情形一样。仙女座漩涡星云核的自转周期约 1 600 万年。

并不是所有的河外星云都是漩涡状的，有一小部分这种星系是像麦哲伦云的。还有“椭圆星云”未曾分为单个的星，它们的盘面有的几乎圆了。有的成为很扁的椭圆形，而最扁的长轴两端竟拉长得像以边对我们的双重凸镜。

银河系也像单个恒星一样相聚成群，那便是本星系群。已知的有 40 个星系群，其中包含的星系数目，有的只几个，有的有几百。在室女座邻近有一些好例证。最近在哈佛天文台研究的半人马座大星系群，其中包括了一些可与仙女座大星云相比的巨人星系。飞马座中一群星系曾被认为与我们的本星系群相似。

在承认了河外星系以后的数年来，关于它们的情形已经知道不少了，未知道的也还是不少。实际上所有恒星引出的问题在星云上都又出现了。正像我们的周围的星都聚集于银河系中一样，我们可以推想银河系和本星系群也都属于更大的结构，一个超级系统。

新一代的望远镜，特别是哈勃太空望远镜帮了我们大忙，现在我们不必像先辈们那样冥思苦想了，因为有了实实在在的观测资料。

本星系群是以银河系为中心，半径约为三百多万光年的空间内的星系之总称，总质量为6 500亿倍太阳质量。也有人把本星系群的中心定义为银河系和仙女座大星云M31的公共重心。目前已知本星系群的成员星系和可能的成员星系有40个左右。其中包括两个巨型漩涡星系（银河系和仙女座大星云），一个中型漩涡星系（三角座星云），一个棒旋涡星系（大麦哲伦云）。本星系群是一个典型的疏散群，没有向中心聚集的趋势。但其中的成员三五聚合为次群，至少有以银河系和仙女座大星云为中心的两个次群。

近距离星系团的空间分布表明，有一个以室女星系团为中心的更高一级的星系成团现象，直径约为30~75百万秒差距，包括约50个星系团和星系群，称为本超星系团。本星系群是它的一个成员。

第三章　膨胀的宇宙

在近年来关于河外星系的种种可注意的发现之中，最可惊的莫过于它们好像离我们远去的速度。这证据是由对它们的光谱的研究、观察其光谱线的移动推演出来的。把我们自己的运动影响除去，河外星系都用极大的速率脱离我们远去，其速率又随距离一同加大。威尔逊山的天文学家宣布大熊座中一暗弱星系离我们远去的速率为每秒 1.1 万千米。当分光仪能观测更远的星系时，退去的运动无疑要更加迅速。比利时的勒梅特（Lemaitre）展成了一个表示膨胀的宇宙的数学公式。在这样的一个构造中，远处物体一定要很迅速地离我们远去，正像我们观测到的河外星系的情形一样。

今天许多人都听到过“大爆炸宇宙学”。当人们初次接触这个问题时，不免产生疑惑。宇宙是无限的，时间是永恒流逝的，我们容易理解。宇宙怎么会由一点爆炸出来？怎么知道宇宙是由大爆炸开始的？

宇宙即指自然界一切物质的总体。宇宙学并非研究某种天体本身，而是借助天体所带的信息研究宇宙的整体行为。宇宙学的研究是要根据我们现在的观测来探讨宇宙的遥远的过去以及长远的未来。它不是哲学，而是一个物理问题。我们根据什么来推断过去、现在和将来呢？我们有两个预先设定好的“宇宙学原理”，它们是：第一，物理定律的普适性。我们发现和应用的物理定律在宇宙其他地方、任何时间都适用。第二，宇宙是均匀、各向同性的。均匀指的是大尺度上的均匀；各向同性，是说所有方向上空间具有相同的性质，宇宙不存在任何中心。首先，从其他天体处进行大尺度观测与地球上观测到的现象是一样的。其次，任何地方观测宇宙的发展与地球上看到的发展相同。我们规定统一的坐标时间，同一时刻观测宇宙，任何地方看到的宇宙是相同的。从星系团空间分布、射电源空间分布、宇宙背景辐射等方面的观测情况来看，宇宙在大尺度上的确是各向同性的。

历史上出现过各种宇宙模型，例如：

1.牛顿静态宇宙论：时间均匀流逝，空间空无一物的骨架。欧几里德空间中均匀地分布着无限多的静止不动的天体。这是一个很“直观”的宇宙。但这个宇宙观点存在著名的奥尔伯斯佯谬（Olbers paradox，1826年）：假定空间无限，充满恒星；星有生有灭，但总体上看宇宙中恒星数密度是不变；时间无限。那么得到的结果是：白天和黑夜一样亮；天空各处都一样亮。

2.等级宇宙论：宇宙中天体及其系统都有聚集成团的倾向。不仅在小尺度上（太阳系、星团、星系、星系团等），在大尺度上也是一样——不承认大尺度上宇宙均匀各向同性的性质，天体分等级与层次，一级比一级高。因不均匀，奥尔伯斯佯谬不再存在。但它很难解释宇宙背景辐射。

3.稳态宇宙：宇宙不仅均匀、各向同性而且在时间上也是稳定的——宇宙特征在任何时候都一样。红移是多普勒效应，宇宙在膨胀。由于各处不断创造物质，膨胀仍然保持均匀。人们对虚无中产生物质与能量表示不理解。

4.静态宇宙模型：1917年爱因斯坦提出静态宇宙观点。在广义相对论引力场方程中引入宇宙常数，并求出其解。只求出其静态解（他认为宇宙是静态的）：宇宙是一个封闭的三维“球面”，天体均匀地分布在这个球面上，半径35亿光年。这明显与哈勃定律矛盾。“画蛇添足”的宇宙常数使爱因斯坦认为这是他毕生的最大错误。

5.膨胀的宇宙学模型：1917年德西特从广义相对论引力场方程得出一个真空静态的宇宙，但只要加入物质，宇宙就会膨胀，于是他偶然得到了一个膨胀的宇宙学模型。弗里得曼（A. Friedman）1922年得到广义相对论的一组不同的解，每一个解描述一个不同类型的宇宙，他把膨胀包含到自己的模型中。1948年伽莫夫（G. Gamow）提出大爆炸宇宙学。1967年发现宇宙微波背景辐射，极大地支持了大爆炸宇宙学模型。而今大爆炸宇宙学模型已被广泛地接受，并且美誉为“标准宇宙学模型”。

第四章　大爆炸宇宙学

1929年哈勃从星系红移与距离的关系得到：$v=H_0 l$，其中l为星系到我们的距离，H_0是哈勃常数，v为天体的退行速度。哈勃定律表明，天体离开我们愈远，退行速度就愈大；而且从任何方向看天体都在离我们而去。为什么天体的退行速度随距离而增加呢？这种退行各个方向上都一样，那么我们是否处在宇宙中心呢？如果我们不在宇宙的中心，那么如何理解这一确定的观测事实呢？

把宇宙中星系看作"分子"，星系膨胀中参与两种运动："分子"具有的膨胀速度，它相对于流体元的无序运动速度（称为星系的本动速度）。这反映于物质分布的局域的不均匀性，典型值为500千米每秒，由哈勃定律，当距离大于20兆秒差距时，膨胀速度便大于本动速度。哈勃定律反映的是宇宙整体膨胀规律，而不是星系个体运动规律。而只有遵循哈勃定律，宇宙才能保持均匀性。

我们可以这样来理解：当气球膨胀时，站到气球上的每一点上看，其他的点都远离你而去，而且愈远的离开的速度愈大。各点观测到的情况都一样，没有中心。另一个例子，让我们来考察一个含有葡萄干的面包。当面包发起来的时候，每个葡萄干都看到其他葡萄干远离自已而去。而且，愈远的葡萄干离得愈远，即膨胀的速度愈大。每个葡萄干看上去都一样，没有中心。

上面的类比表示星系退行观测事实，反映真实的宇宙在膨胀——随着时间的推移，宇宙在不断地膨胀。如果逆着时间看，时间愈早，气球愈小。那么膨胀的宇宙是从那里开始的呢？

比利时宇宙学家、数学家、天主教神父勒梅特（G. Lemaitre）在1931年提出：开始时，宇宙中所有星系都聚集在一起，称为原始原子，这个原始原子突然爆炸了，把所有星系抛入空间。尽管他没有提出大爆炸宇宙学这个名称，但他关于宇宙学的最重要的思想就是大爆炸。

1948 年俄裔美国人伽莫夫（Gamow G.）将宇宙膨胀与元素形成结合起来，奠定了大爆炸宇宙学。大爆炸宇宙学认为，大爆炸发生在大约 150 亿年前。宇宙是有限的，但是宇宙是无界的。

将时间往前推，当宇宙尺度为今天的百分之一时，宇宙密度将达到今天的 100 万倍，大于星系的密度，星系不能存在。由此我们推知，宇宙结构在某一时间前是不存在的，宇宙结构只能是演化的产物。

没有结构前，宇宙是一大片由微观粒子构成的均匀气体，温度高，越早温度越高，密度越大。温度高于 10^4K 时，粒子热运动能太大，中性的原子不能形成。中性原子只在 3 000K 左右时，才能形成。当温度低于 3 000K 时，电子与原子核结合为中性原子，大量散射光子的电子消失。宇宙失去大量电子，光子不再受到电子的强烈的散射。于是宇宙开始透明，光子与物质失去了耦合。于是宇宙介质作为独立部分留下来，而我们能看到最早的宇宙，就是作为历史遗迹的 2.7K 背景辐射光子。

当温度高达 10^{10}K 时，粒子热碰撞使原子核瓦解。这就是说，原子核也是演化的产物。现在观测到的 1/4 的氦丰度，就是早期宇宙核合成的结果。

标准宇宙模型

时间	温度（K）	时期	事件
0	无穷大	奇点	大爆炸
10^{-43} 秒	10^{38}	普朗克时期	粒子产生
10^{-36} 秒	10^{28}	大统一时期	重子对称形式
10^{-6} 秒	10^{13}	强子时期	质子、反质子湮没
1 秒	10^{10}	轻子时期	正电子、电子湮没
3 秒	10^{9}	原初核合成时期	氦和氘形成
3×10^{5} 年	3×10^{3}	解耦时期	宇宙透明化

标准宇宙的困难

标准宇宙模型似乎很有说服力，与观测事实也符合得相当好。但是，也还存在着几个根本性的困难。其中最主要的是视界疑难、准平坦性疑难和磁单极疑难。

视界疑难

视界是指宇宙刚诞生时发出的信号在一定时刻最多能走多远。这是能有相互影响的空间两点之间的最大距离，或者说是具有因果关系的最大距离。这个距离与宇宙年龄成正比。按照标准宇宙模型，大统一时代的尺度（3 厘米）竟比大统一时代的视界（3×10^{-26} 厘米）大了 26 个量级！就是说，在大统一时代，这个尺度范围内竟然包括了 $(10^{26})^3=10^{78}$ 个无因果联系的区域！

今天观测到的尺度范围内的物质分布是几乎均匀的。世界上不会有无缘无故的均匀，均匀只可能通过相互影响而达到平衡所致。这个均匀怎么可能来自 10^{78} 个无因果联系的区域？要知道，无因果联系的区域之间是不可能相互影响以使它们的密度取同样值的。怎么可能使 10^{78} 个无因果联系的区域都取同样的密度？这就是视界疑难。

准平坦性疑难

就是说，宇宙早期的物质密度非常接近于临界密度，偏离程度只有 10^{-55} 量级。偏差之小，实在惊人。

为什么宇宙早期物质密度会如此接近于临界密度？为什么宇宙早期空间性质会如此接近于平直空间？这是十分令人费解的。除非有特别的机制加以保证，否则难以想象会有如此接近的偶然性。

磁单极疑难

我们知道，电荷有正，负之分。质子带正电，电子带负电。正、负电荷相隔一小距离，可以组成一个电偶极。电偶极总体是电中性的，但具有电偶极矩。正电荷、负电荷就是电单极。磁虽然也有北极和南极之分，就像正电荷和负电荷那样，但是，磁总是以偶极方式出现，却从未见过磁北极和磁南极单独存在的。所谓磁单极就是指带有净“磁荷”的粒子，即磁北极或磁南极。

磁单极最早是由狄拉克在 20 世纪 30 年代研究电荷量子化时预言的。他说如果有了磁单极，就可以很自然地解释为什么电荷总是电子电荷的整数倍。后来，

大统一理论也预言了磁单极的存在。按照大统一理论算出的磁单极的质量比质子质量还重 10^{15} 倍，约为 0.02 微克。一个微观粒子的质量重到接近可以用宏观精密天平来称的程度！

磁单极极少湮灭，在宇宙膨胀过程中，磁单极密度的减小只是因为体积膨胀而增大。今天的磁单极密度约为 2×10^{-8} 每立方厘米，如果是这样，磁单极应当非常容易找到。事实却一个也还没有找到。同时，考虑到磁单极的质量非常大，按此计算，磁单极对宇宙密度的贡献将高达 3×10^{-16} 克每立方厘米。按这样高的密度来计算，今天宇宙的年龄将会年轻到十分荒谬的地步（只有几万年）！这就是磁单极疑难。

暴胀宇宙模型

上述这些疑难的关键之点在于：宇宙的膨胀太慢。要突破这个困难，必须找到一种机制，使得宇宙至少在一段时间内曾经快速膨胀过。宇宙早期可能存在过这种快速膨胀阶段的想法首先是顾斯（Guth A. H.）于 1981 年提出来的，叫做暴胀宇宙学或暴胀宇宙模型。这个模型后来又经过许多发展。

宇宙在大统一时代以前，真空处于对称态。当温度降到临界温度时，达到对称态向破缺态相变的条件，但由于较大势垒的存在，使宇宙得以暂时继续停留在对称态。随着宇宙的膨胀，温度降到临界温度以下，破缺态成为真的真空。在势垒仍较大的情况下，宇宙还会再在对称假真空态上继续停留一段时间。类似的情况我们也常见到，比如从气态到液态的相变中。当一盒水蒸气在一个大气压下冷却到 100℃时，如果水蒸气足够干净，就不会开始凝结成水。即使继续冷却，水蒸气仍会作为过冷蒸气而停留在气态，不会马上进行相变而成为水。类似地，宇宙在其温度降至临界温度以下时，其真空也会在过冷亚稳对称态停留一段时间。因此，这段时间宇宙所处的亚稳对称假真空态的能量（或质量）密度不为零。

更形象地说是处于过冷状态，就像零摄氏度以下的水是过冷水一样。而当宇宙处于过冷态时，粒子与辐射这两种成分对于宇宙膨胀的影响很小而起作用的是真空态。真空压力是负的，即相当于一个排斥力。也就是说，当宇宙处于过冷真

空态的时期，是一个以排斥力为主的时期。在斥力作用下，宇宙的膨胀将会是加速的。这种加速会使宇宙极快地膨胀，它就是暴胀。

与标准模型中早期宇宙的膨胀规律相比，这一阶段的指数式膨胀是极其快速的，常称为暴胀阶段。按照大统一理论，以估算出过冷对称相的真空能量密度，由此得知暴胀阶段约可持续 10^{-32} 秒以上。因此，在这短短的时间内，宇宙尺度竟暴胀了 10^{43} 倍以上！

前面已经估计出，按标准模型来算，与今天所观测到的尺度相对应的大统一时代的尺度比视界大了 26 个量级。现在看来，那个尺度过高估计了 43 个量级。也就是说，考虑了暴胀以后，与今天所观测到的尺度相对应的大统一时代的尺度不过是视界中的极小部分而已，因而自然都在因果影响的范围之内，视界疑难就不复存在了。

在暴胀宇宙学中，不仅在宇宙的早期无量纲密度非常接近于 1，而且现在的值也非常接近于 1。所以，暴胀宇宙学暗示宇宙应是严格平直的，或者说，应是爱因斯坦—德西特宇宙。这样就解决了准平坦性疑难。

同样，在考虑到暴胀以后，今天所观测到的宇宙不过是来自暴胀前破缺产生的一个均匀真空小区域内的一小部分。作为不同真空区域交界点的磁单极自然就少到几乎不存在了。因此，磁单极疑难也不复存在。就是说，今天没有观测到磁单极，并不是磁单极不能存在，而是在今天所观测到的宇宙范围内一直没有提供生成磁单极的条件。

暴胀宇宙学利用粒子物理中的真空相变概念，只对宇宙极早期（10^{-34}~10^{-32} 秒）小范围内作出修改，自然地解决了标准宇宙学的几大困难，却又保全了标准宇宙学的原有成果。暴胀宇宙学还预言，宇宙中非重子物质非常多，宇宙暗物质中可能主要是非重子物质。

第五章　微波背景辐射

大爆炸宇宙论的预言

1963年初，彭齐亚斯（Penzias）和威尔逊（Wilson）把一台卫星通讯接收设备改造为射电望远镜，进行射电天文学研究。他们不断提高测量的精度和降低系统的噪声温度，使天线温度测量值的总误差小到0.3K，从而发现了3.5K的宇宙背景辐射。这种辐射被确认是宇宙大爆炸时的辐射残余，从而成为大爆炸理论的重要观测证据。它对现代宇宙学的贡献仅次于哈勃发现河外星系的红移，被公认为20世纪天文学的一项重大成就。由此，彭齐亚斯和威尔逊获得了1978年度的诺贝尔物理学奖。瑞典科学院在颁奖决定中指出，这是一项带有根本意义的发现，它使我们能获得宇宙创生时期所留下的信息。

迪克错失发现良机

伽莫夫、阿尔弗和赫尔曼的预言并没有受到学术界的重视，被搁置了10多年。他们本人也没有进一步完善自己的理论，而且也不关心天文学的观测。实际上，那时已有一些观测显示出存在宇宙微波背景辐射的迹象。既然宇宙在复合期留下的辐射到今天已处在射电的微波波段，发现这一辐射的观测手段当然只能是射电望远镜了。在20世纪40年代，射电望远镜所用的天线都比较小，接收机的噪声温度也比较高，因此灵敏度是不高的。1945年，美国麻省理工学院的迪克（Robert Henry Dicke）研制了一台波长为1.25厘米的射电望远镜，其抛物面天线的口径仅45厘米。他用这台射电望远镜观测太阳和月球的射电辐射。在这样的波段上，地球大气

也有辐射，而且还比较强。为了扣除大气辐射的影响，迪克转而对1.25厘米波段上的大气辐射进行精确的测量，却意外地发现了温度为20K的“天空背景辐射”。他认为，这种辐射并非来自地球大气，而很可能是广泛分布在宇宙空间中的各种星系的射电辐射构成的背景，他把这种辐射称之为“宇宙物质辐射”。

实际上，这种辐射就是后来发现的微波背景辐射，只是当时射电望远镜的测量精度不高，人们对大爆炸宇宙模型也不太熟悉，迪克未能把他的发现和微波背景辐射联系起来。很有意思的是，迪克关于“宇宙物质辐射”的观测结果和伽莫夫关于“核合成”的一篇论文，都发表在1946年的《物理学评论》第70卷上。但直到20年后，人们才发现这两篇论文之间的密切关系。如果那时伽莫夫拜读了迪克的论文，很可能会把迪克的观测发现和他们预言的“宇宙微波背景辐射”联系起来。如果迪克去读一下伽莫夫等的论文也可能有所启迪，那么发现3K宇宙微波背景辐射的机遇就不会留给彭齐亚斯和威尔逊了。迪克失去了一次发现宇宙微波背景辐射的绝好机会，伽莫夫等人也失去了一次验证其理论的机会。

1946年，迪克回到他毕业的普林斯顿大学任教。到了20世纪60年代初，迪克转向研究宇宙学，但是他不相信伽莫夫提出的大爆炸宇宙学。他心目中的宇宙模型是永久振荡模型，即认为宇宙是反复地膨胀和收缩的，目前的宇宙正处在膨胀阶段。他猜想宇宙在“振荡”过程中会留下可观测的背景辐射。迪克让他的研究生皮布尔斯计算振荡模型里宇宙温度如何随演化而改变。很有意思的是，他们的结果也认为宇宙中充满着一种温度为10K的背景辐射。迪克终于想起了20年前他发现的温度为20K的“宇宙物质辐射”，认为这种辐射可能就是“振荡”过程中留下的微波背景辐射。1964年，迪克鼓励两位研究生去寻找这种辐射，他们为此研制了射电望远镜。可是还没有等正式观测，却有人捷足先登了，那就是后来获得诺贝尔物理学奖的彭齐亚斯和威尔逊。迪克再一次失去发现良机。

还有一人也和这次发现宇宙微波背景辐射擦肩而过，他就是彭齐亚斯和威尔逊的同事、工程师奥姆（E. A. Ohm）。奥姆用贝尔实验室的喇叭状天线进行测量时，曾发现有3.3K的多余噪声温度，测量结果于1961年发表在《贝尔系统技术杂志》上。只是这个多余的噪声温度小于实验误差，而且对通信亦无妨碍，因此没有受到人们的注意。

戏剧性的发现

1960年代，彭齐亚斯和威尔逊在贝尔实验室做射电天文研究。他们当时的任务与天文没有关系，只是调试一个为回声卫星计划而建造的6米角形反射天线。因为要确定背景噪音，需要测定当天线指向天顶时的天空亮度。天线测到的亮度通常用温度来表示，相当于该温度下同频率的黑体辐射的亮度。彭齐亚斯和威尔逊测到的温度是6.7K。他们知道其中2.3K来自大气层，0.9K来自天线内的欧姆损耗，于是还剩下3.5K不明来源。

天线中的不明噪音在贝尔实验室是老问题，却一直被人们忽视。彭齐亚斯和威尔逊却执著地要弄清它，并花了很大的力气。他们为此把天线拆开，发现了一对在里面做窝的鸽子。他们清除了鸽粪，弄走了鸽子。如此种种努力都没有发现这不明噪音的来源，仅仅排除了它来自天线内部或附近环境的可能。他们从而肯定了这是一个来自远处的辐射信号，却完全没有意识到这一发现的意义。幸运的是贝尔实验室离普林斯顿大学很近，而那里的宇宙学家们太明白温度为3K的微波背景的意义了。于是两组人接触讨论之后，分头各写了一篇论文，发表在同一期的天体物理杂志上。

微波背景辐射的发现无疑是宇宙学发展史上最重大的事件之一，它证实了大爆炸宇宙论的预言。从此，我们认识宇宙的图像开始渐渐明朗起来。

第六章　宇宙的组成

普通物质是由地球上我们知道的同类原子组成的。原子核由质子和中子组成。绕原子核旋转的电子数目和质子数目相等，不过当原子被电离时会有一些电子被剥掉。原子可以结合在一起成为分子，而分子又可以结合成我们在地球上看到的所有物质。原子能够发光，通过观测星光我们知道恒星也是由原子组成的。但是当天文学家观测更大的天体例如星系外部或整个星系团时，他们发现在发光的气体和恒星中看见的物质量，不足以通过引力把这些天体束缚在一起。他们因而假定有一种物质形式，由于太暗而不能通过其辐射被人看到，这就是暗物质。

新近的观测表明，物质和能量的总密度取平坦宇宙所需的临界值。这个总临界值中，大约三分之二是暗能量，其本质未知，三分之一是物质。普通物质约占总数的5%，明亮恒星仅占0.5%。不在明亮恒星中的普通物质在哪里呢？对于至少某些失踪的普通物质说来，热星系际气体是一种主要的候选者，Con-X将检验这一假设。那些不是由原子构成的物质（暗物质）的本性是一个更大的谜。某些暗物质由大爆炸后留下来的中微子构成。尽管由于其质量的不确定性，难以确定它们究竟占多大比例，不过天体物理观测却提示，中微子决不能说明暗物质的大部分。大家相信其余形式的暗物质是运动相对缓慢的粒子或天体，因而被称为“冷暗物质”。决定这种冷暗物质的本性，是现代天体物理未解决的重大问题之一。

我们宇宙的组成：宇宙中物质和能量的三分之二是一种未知形式的暗能量，它使宇宙膨胀加速而不是变慢。另外三分之一取物质形式，其主体为暗物质，我们认为它由宇宙诞生后的最早时刻遗留下来的缓慢运动基本粒子（冷暗物质）组成。所有形式的普通物质仅占总量的约5%，其中只有约十分之一在恒星内，周期表中较重的元素（碳，氮，氧等）含量极微。粒子暗物质的概念得到增强，是由于近来有证据表明中微子有质量，因而在宇宙中占到了几乎和恒星一样的份额。

暗物质的大尺度分布可以通过引力透镜的观测来研究。引力透镜给了天文学家观察星系团中和某些个别星系周围暗物质分布的最佳手段。在未来十年中，用LSST和其他望远镜进行的大天区星系普查，将提供能描绘超团尺度暗物质分布的透镜数据，这一信息对了解大尺度结构的增长是至关重要的。

暗物质构成的两种主要可能性是：一是最早的创生时刻留下来的基本粒子；二是恒星质量的天体（大质量致密晕天体，即MACHOs)。这两种候选者质量相差57个量级以上，是该领域中不确定性的标志。

理论家们预言，MACHOs尽管暗得不能通过它们自己的辐射探测，却可以用引力透镜探测到：背景恒星的光当MACHOs在它前面经过时会被增强。过去十年中，有几个小组独立地探测到这一现象，由于透镜的质量同星系相比太小，故被称为微透镜。MACHOs的本性是一个难解之谜：它们是普通物质构成的恒星呢，还是陌生物质构成的天体？准确测定它们的质量会有助于解决这一问题，但到目前为止，还不可能进行确切的测量。最佳的估计是，MACHOs的典型质量比太阳小一些。通过求解被MACHOs成像的恒星的视运动，SIM将测定MACHOs的质量。研究微透镜有几个重要的副产品，包括分辨被透镜恒星的表面，应当有可能通过微透镜观测探测到地球那么小的行星。

目前还不清楚MACHOs对银河系中的暗物质有多大贡献。如果MACHOs由普通物质构成，那它们就不能说明已知存在于宇宙甚至银河系中暗物质的主体。结果，全世界若干实验室正在进行一系列努力，试图发现可以将我们银河系束缚在一起的粒子暗物质。在美国有两个重要项目正在进行：（1）致冷的暗物质搜寻者II，搜寻大约具有原子质量的称为中性伴随子的粒子，（2）轴子实验，搜寻一种称为轴子的极轻的暗物质粒子。中性伴随子的存在是超弦理论的一个预言，超弦理论是试图将引力与其他自然力统一起来的一个大胆而极有希望的尝试。若能发现将银河系束缚在一起的暗物质就是中性伴随子或轴子，那将不仅可以阐明天体物理学中的暗物质问题，而且也会为自然界中基本力和粒子的统一带来曙光。

第七章　宇宙的结构

星系尺度以下的宇宙结构的种子，是大爆炸瞬间微小的量子涨落种下的。为了研究宇宙的大尺度结构如何由这些种子长成，必须研究今天星系在空间如何分布。十多年前进行的星系巡天，揭示出一些包含很少星系的巨大空洞和另一些尺度达300亿光年的星系密度增高区域。过去十年的星系巡天表明，这看来已是密度发生大涨落的极限尺度——在更大的尺度上，宇宙看来是平滑的。正在进行的巡天，特别是斯隆数字巡天（SDSS），将提供一幅精确得多的近邻宇宙中的星系分布图。

导致这种早期涨落的直接证据，铭刻在宇宙最古老的辐射——宇宙微波背景（CMB）之中。这种辐射是在大爆炸后仅数十万年时发出的，那时该辐射的温度比太阳表面低一些。由于宇宙膨胀引起的冷却，今天这种辐射的温度降低了约1 000倍，即绝对零度以上约3度。1989年发射的宇宙背景探测者卫星（COBE）对这种辐射进行了非常精确的观测。该卫星的数据显示，这种辐射具有理论预言的黑体谱。COBE数据也揭示了辐射强度中微小的空间起伏，它所指示的密度涨落能够导致宇宙中观测到的大尺度结构。这组卫星观测首次为我们进行宇宙学推测的基本模式提供了直接的经验证据，并为该领域所有后续工作建立了定量基础。

按照设计，COBE卫星的角分辨率非常低，所以只能测量背景辐射中最大尺度的结构。背景辐射中较小尺度的特征依赖于宇宙中所含的物质和能量，结合SDSS和超新星搜寻之类较低红移的研究，这些数据可以用来确定宇宙的所有基本性质，包括它的年龄以及它所包含的物质和能量密度。新近的观测表明，物质和能量的总密度非常接近于使宇宙几何平坦所需的值。美国航空航天局（NASA）的MAP、ESA的Plank巡天卫星、地面宇宙背景成像器以及未来的气球观测将大大提高背景辐射研究的灵敏度。除了以更高的精度测量宇宙学基本参数以外，这些设备还将

对若干流行的宇宙学理论提供严格的检验。地面研究将测量居间星系团内的热气体产生的背景辐射谱变形。结合 Con-X 对这种热气体性质的观测，研究人员将能测定这些星系团的距离，约束哈勃常数值，探测宇宙的大尺度几何。

宇宙微波背景的偏振是这些设备刚开始研究的一个方面。大爆炸后最初瞬间激发的引力波的影响会使背景辐射产生偏振。下一代 CMB 卫星可以更精确地测定这种偏振的性质，从而能直接检验流行的暴胀宇宙学模型，同时阐明早期宇宙中远超出地球上加速器所能达到的能量下发生的物理过程。

第八章 宇宙的演化

如前所述，大爆炸理论允许我们回溯宇宙的演化直到它仅仅是基本粒子混合物的时刻，即开端之后数微秒。有人还提出一些颇有希望的想法可以把对宇宙的了解回溯到粒子存在以前，那时宇宙中最大的东西甚至是量子涨落。大爆炸以来宇宙是怎样膨胀的呢？我们可以通过观测辐射的红移来测量宇宙的膨胀。观测到一个天体发光的红移越大，宇宙自该辐射发出以来膨胀得越多。红移和时间之间的关系（宇宙钟的定标）决定了辐射是多久以前发出的。用光速把时间化为距离，这一关系也可以用来确定宇宙的几何（即空间是平直的还是弯曲的）。当前的膨胀时标由一个称为哈勃常数的参数确定，它给出了红移和距离之间的关系。用 HST 和其他望远镜已有可能以接近 10%的精确度测定哈勃常数的值。

为了从哈勃常数的测量值导出宇宙年龄，需要知道膨胀如何随时间加速或减速。宇宙的膨胀史依赖于宇宙中物质的总密度（普通物质和暗物质）和可能的非零“宇宙学常数”，这一常数可能代表宇宙中的一种“暗能量”。这些参数决定着宇宙的几何性质和它的未来命运，即它将永远膨胀或是终将再次塌缩。

暗物质的发现是基于两组独立的观测。首先，有人找到一种方法从 Ia 型超新星亮度下降的速率确定其光度。知道了光度就能通过测定其亮度确定（或计算）到这颗超新星的距离。结果表明：遥远的超新星看来比预期的暗，这意味着宇宙的膨胀正在加速。结合其他数据，超新星的观测导致如下结论，暗能量也许占到了物质和能量总密度的 70%。其次，宇宙微波背景涨落的观测强烈暗示：宇宙的确是平直的，所以物质和能量的总密度取其临界值。因为星系团质量的估计表明宇宙的物质密度只有临界值的约 30%，所以暗能量就必须占其余的 70%。结合上面测定的哈勃常数值，物质和能量的估计值给出的宇宙年龄约为 140 亿年。

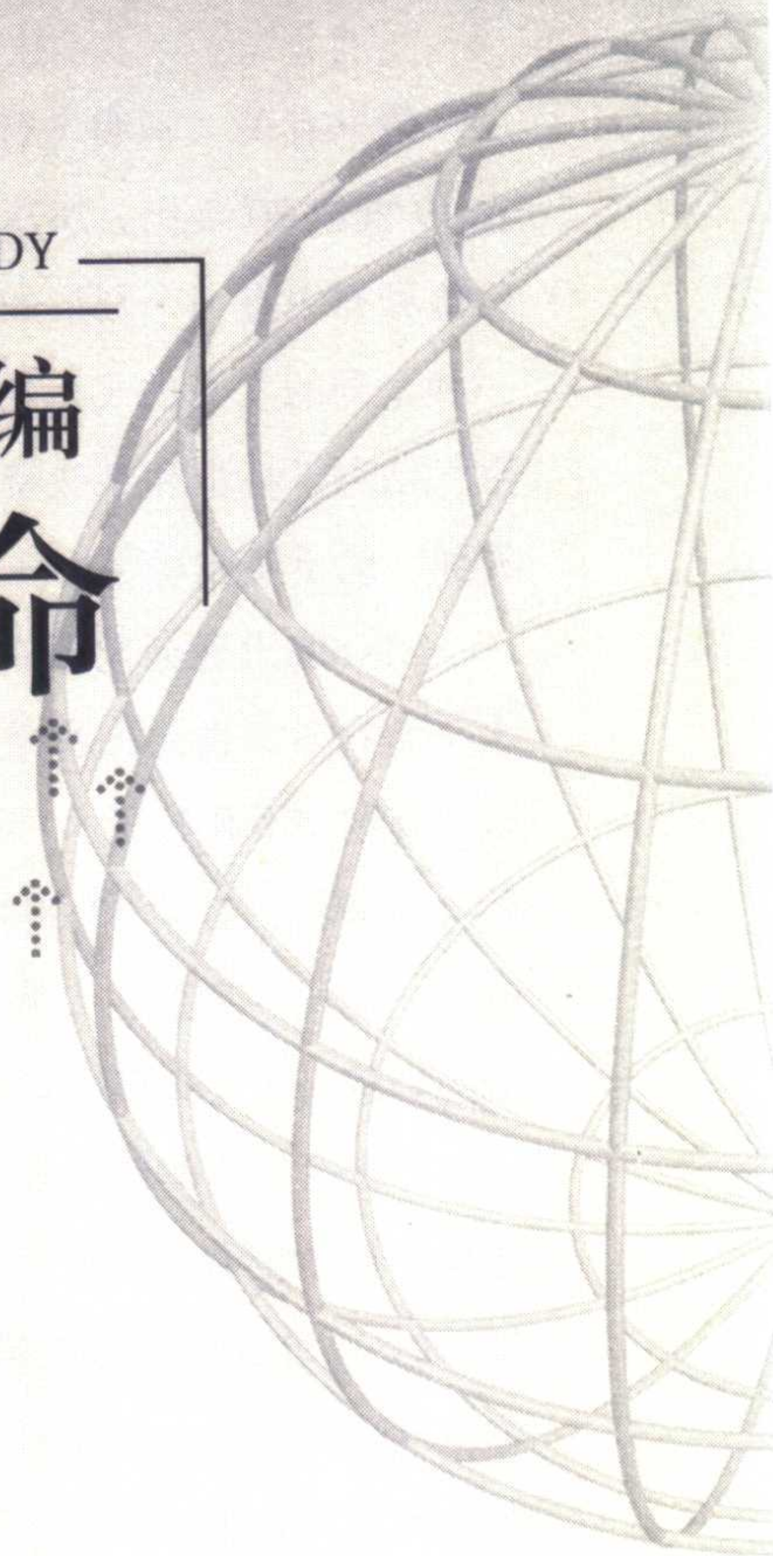
在未来十年内，观测者和理论家将努力理解和拓广这些观测结果。证实暗能

量的存在并具有可与物质竞争的密度，将是一个具有最基本意义的物理发现。计划中的宇宙微波背景观测将提供包括普通物质密度在内的更精确的宇宙学参数值。用 LSST 发现数量更多的超新星，随后用其他地面和空间望远镜进行更灵敏和精确的测量，将允许我们以更高的精度标定宇宙时钟。那时就应当有可能确定宇宙学常数是像爱因斯坦假设的那样是一个真正的常数呢，还是像某些流行理论建议的那样在随时间演化。

ASTRONOMY FOR EVERYBODY

第八编

探索地外生命



第一章 UFO

最早有关“不明飞行物（Unidentified Flying Object，缩写为 UFO）”的报道是在 19 世纪 70 年代。1878 年 1 月，美国得克萨斯州的农民马丁在田间劳动时，忽然望见空中有一个圆形的物体在飞行。UFO 常常指的是出现在天空或地表附近的一种奇异的发光的飞行物体。美国空军部一份情报文献定义的 UFO 是指其性能、空气动力学特征和某些特殊的细节不同于目前为人们所知道的任何类型的飞机或导弹，或不能被肯定为常见物体如气球、星体、鸟群等。

UFO 的出现毫无规律性而且转瞬即逝，加上存在不少虚假的描述，即使是高水平的科学家也无法解释所有的 UFO 报告。为此，1948~1969 年之间的 22 年时间里，美国空军执行了一项著名的“蓝皮书计划”。这项计划的资料中包括了 12 600 件目击报告，其中 12 000 件报告中的 UFO 被解释为已知物体，例如飞机、气球、云彩、流星、鸟群、人造卫星及光线反射等，但是对其他的 UFO 报告却无法用一般的物理及大气现象来说明。

分析后得出的结论是：UFO 可能是一种自然现象，也可能是一种幻觉。例如，蓝皮书计划记载了一件发生于 1948 年的著名 UFO 事件：“1948 年 7 月 24 日的凌晨 3 时 40 分，一位驾驶员和一位副驾驶员在驾驶 DC-3 型飞机时，迎面看见一个物体从他们的右上方掠过，急速上升，消失在云中，时间大约有 10 秒钟。这个飞行物似乎有火箭或喷气之类的动力装置，在它的尾部放射出大约 15 米长的火焰。该物体没有翅膀或其他突起物，但有两排明亮的窗子。”事实上，那天夜间正好赶上流星雨，所以这个奇怪的物体实际上是远处的一颗流星。

确实，人们不能过于相信自己的眼睛。人眼有时会把一些小圆点视为一条线，将某些不规则形状的物体看成一种熟悉的东西，甚至在某个观察角度和一定的天气条件下，视力良好的人也会把一颗星星或者一架飞机看成一种其他物体。这里

有个形象的例证：1955 年 3 月 3 日夜里，天文学家门泽尔在靠近白令海峡的北极地带飞行时，突然看到一个明亮的 UFO 闪烁着红绿两色的光芒从地平线的西南方射向飞机。在离飞机约 100 米的地方，它突然停止了。飞行物的直径约相当于满月的三分之一。它忽而消失在地平线，忽而又返回。门泽尔突然意识到这是天狼星的模糊形象，由于远处的群山挡住了星光，天狼星才忽隐忽现。

蓝皮书计划是根据物理学家康顿主持的一项大型学术活动的调查而结束的。这些调查结果长达 1 500 页，其结论是：没有根据证实 UFO 是天外来客，因此也无需继续调查。

第二章　地球生命之源

生命源于海洋说

从恒星演化的理论出发，我们有理由认为：地球从诞生开始就有一个原始大气层，它含有氢的化合物——水蒸气、氨、甲烷、硫化氢、氰化氢等等。还可能有一个由液态水组成的海洋，将大气中的各种气体溶解于海水中。为了在这样的世界上形成生命，那些简单的分子必须结合起来，形成复杂的分子。一般说来，这一过程必须要有能量的输入。太阳光及其紫外辐射照在海洋上，可以提供必要的能量，迫使小分子形成较大的分子。

1952 年，美国化学家米勒和尤里做了一个实验，企图设法去发现这样一些较大的分子。他们制备了被认为曾在地球原始大气中存在过的一些物质的混合物，然后，用放电作为能源，让这种混合物接受几个星期的照射。最后，他们发现这个混合物中含有比在开始时使用的分子要稍微复杂一些的分子，而且包含着一些用于制造重要化合物的氨基酸。然而，即使凭借最丰富的想象力，到目前为止也还没有形成可以称之为生命的东西。不过我们目前只用仅仅几升液体进行研究，每个阶段仅仅几个星期。而在原始地球上，整个海洋的液体接受阳光照射已达数十亿年之久。事实很可能是：在太阳光的照射下，海洋中的分子会逐渐地变得越来越复杂，直至最后，由于某种未知的原因形成了某一个分子，这个分子能够把较简单的分子组成像它自身那样的另一个复杂的分子。这样，生命就出现了，并且延续着，逐渐地演变为现在的生命形态。“生命”的原始形式甚至比现在最简单的生命形式还要简单得多，但它们已足够复杂。

就像铁在潮湿的空气里必然会生锈那样，生命的出现也许并不是一种奇迹，它只不过是因为各种分子沿着一条捷径彼此结合起来而已，这一点似乎是十分肯定的。在原始地球的条件下，必然会形成生命。而对于物理和化学性质与地球相似的任何其他行星，也会不可避免地出现生命——尽管未必是有理性的生命。

生命源于太空说

20世纪初，瑞典化学家阿列纽斯建立了电离理论学说，提出了宇宙胚种论。他认为，原始的生命孢子穿过宇宙空间来到地球上，这颗星球上才有了生命的开端。生命孢子能够长期地经受住宇宙中的寒冷和无空气状态。他确信，携带生命孢子由一个星球到达另一个星球的动力是辐射压力。他由此断定，生命在宇宙间的扩散是无处不在的。

可是，阿列纽斯理论有两个要害。第一个要害是，尽管孢子能抵抗寒冷和真空，但是不能抵抗紫外线和其他能量辐射，由于宇宙空间——至少在星球周围——充满了这样的能量辐射，孢子能否生存就很成问题了。第二个要害是，孢子理论并没有真正解释生命的起源，它只不过是回避了这赋有生命的孢子形态存在这个问题。如果生命不是起源于地球上而是起源于另一个世界，而到达我们的地球是以一种已赋有生命的孢子形态存在，那么在另一个世界上的最初那个地方的生命又是怎样起源的呢？

尽管地球生命是天外来客的说法受到批评，后来仍有不少学者提出各种假说。英国天文学家霍伊尔20世纪70年代末提出，生命并非起源于地球，而是来自遥远的太空。还有一些人认为，地球是受了彗星等地外天体的影响，彗星带来了早期生命的种子。

在地球形成以前，整个太阳系处于分子云的襁褓中时，生命就形成了。然而，当太阳要“脱胎”出分子云的前一刻，它吹出的强劲的恒星风吹散了包围它的原始物质。在太阳周围，这些原始物质现已不复存在了。然而欣慰的是，在宇宙空间还存在一些分子云，它们是研究生命形成的“化石”。利用巨大的射电望远镜，可观测来自这些分子云的辐射，研究不同演化阶段分子云的物理环境和化学成分，从而研究具体的形成过程，在分子云中建立分子演化链。现在已经发现了90多种分子，其中大部分为有机分子。在银河系中，人们研究最多、最仔细的是猎户座大星云，在此星云中，已搜索到约60种星际分子。所以，现在很多科幻作品都会以猎户座大星云为背景而创作。

第三章　寻觅太阳系

对外星生命的探究始终没有停止过。最早的探索是针对月球。有人大胆地设想，月球上面有智能生物，并为此编造出许多故事。更有人天真地设想：月亮很可能是一个由外星人人工制造的空心体，其中有一些鲜为人知的秘密，诸如月球内部可能是一个奇妙的生态体系啦，里面藏着一些相当文明的智慧生命啦，那里也可能是外星人研究观察地球人的航天站啦，等等。幸运的是，这种胡思乱想很快被理性的人们遗忘。

事实上，行星上生命的发生和发展，必须要满足一系列的生物生存的必要条件。例如，行星上生命的诞生、存在和发展，均离不开自身发光、发热的恒星。根据恒星演化理论，恒星是由气体尘埃云收缩而形成的。对于密度很低的原始星云，通常是在自身引力作用下收缩，渐渐变成一个自转的扁平圆盘，于是中央主要部分因密度增大、温度升高发生热核反应而形成恒星，其周围的物质盘逐渐形成行星系统，例如我们的太阳系。

我们的地球上有充足的水和含氧量高的空气，又有比较合适的温度，这与它距离太阳的位置等条件有很大关系。而水星的白天非常酷热，夜间却极端寒冷，厚厚的金星大气主要是二氧化碳，存在严酷的温室效应，生物根本无法生存。火星的条件比较接近地球，但那里现在似乎没有生命存在，因为水是否存在还属未知之列。十几年前宇宙飞船的空间探测表明，木星和土星上也没有任何生命存在的迹象。太阳系边远空域的天王星、海王星和冥王星，它们的环境也不适宜任何智慧生命存在。到目前为止，所有的太阳系探测结果表明，尚未发现和证实哪里还有像地球这样适于智慧生命栖息的星球。

第四章　寻觅银河系

银河系是由恒星、气体和尘埃组成的直径约10万光年的盘状星系，年龄大致为100~150亿年，包含的恒星约一两千亿颗，其中与太阳极其相似的恒星至少有数十亿颗。人们推测这些恒星中至少应有数千万颗周围有行星绕其运行，这些行星中至少又有数百万颗具有生命生存的条件。既然认为生命不是上帝创造而是自然产生的，银河系中至少应有上万个行星有生命存在。或保守地说，银河系中至少存在着几百个存在智慧生命的文明星球。

有人认为，如果在150多亿年期间，有一个智慧生命存在的星球文明程度很高（掌握星际航行、通讯技术），那么在5 000万年至1亿年内，它就应扩张到整个银河系——从一颗恒星到另一颗恒星，传播文明并到处扩散智慧生物。但是，当人们环视周围的宇宙空间时，并没有观测到一个智慧生物大量涌现的天体，也没有确凿的证据表明外星人曾经访问过地球。

探索太阳系外的、围绕恒星旋转的行星，至今仍是一个艰难的题目。尽管天文学家早已认识到，长期、精确地观测某颗恒星的运动，看它是否呈现出摆动现象，有可能发现它周围是否有暗弱的伴星存在。但目前的问题是，检测地外行星系统的所有技术还不够灵敏、成熟，观测到一颗恒星的摆动，还只是探索行星存在的一种间接技术。直接的检测意味着应得到一颗行星的图像及其可测的位置。1983年发射的第一颗红外天文卫星IRAS曾向地球发回了一条令人振奋的宇宙信息：在明亮的织女星的周围，发现一些固体物质团块的存在，虽然这些团块的温度很低。那里很可能是一个正在形成的“太阳系”，那些物质团块应属于正处在凝聚过程中的年轻行星。一旦环境条件适于生命繁衍，这些行星上将来也可能会有外星人栖息。

绿岸公式

1991 年 11 月，美国西弗吉尼亚州绿岸镇附近的国立射电天文台举行了一次学术讨论会。天体物理学家德雷克提出了一个著名的方程，后来称之为“绿岸公式”，这是对探索地外智慧生命作定量分析的第一次尝试。

德雷克提出的“绿岸公式”是这样的：$N=R\times n_e\times f_p\times f_l\times f_i\times f_e\times L$。公式中，$N$ 表示银河系中可观测到的技术文明星球数，它取决于等式右边 7 个数的乘积。R 表示银河系中类似太阳的恒星形成率，即每年平均诞生的颗数，一般认为只有像太阳这样的恒星才有可能孕育出智慧生命来。n_e 是在可能携带行星的恒星中，其生态环境适合生命存在的行星的平均颗数。f_p 是“好太阳”颗数，“好太阳”指那些光度恒稳、能长时间照耀、满足形成智慧生命演化所需条件的恒星。f_l 是已经出现生命的行星在可能存在生命的行星中所占的份额。f_i 表示已经有智慧生命的行星的颗数，因为低级生命演化到智慧生命的概率毕竟很小。f_e 是在这些已有智慧生命的行星中，已经达到先进文明的高级智慧生命的行星（能进行星际电磁波联络）的份额。L 表示具有高级技术文明世界的平均寿命，因为只有持续发展很长时间的文明星球才有可能进行星际互访。

“绿岸公式”以乘积形式表示出，这些因子的确切大小目前仍不得而知。公式中有的因子可取近似值（例如 R），有的因子则纯属主观（例如 L）。有的学者认为，除了 L，其余因子的乘积给出的是银河系中可检测文明的产率，从而得出结论说，在银河系中的高级技术文明星球的数目为 40 万~5 000 万个。美国著名科普作家阿西莫夫曾提出与“绿岸公式”类似的公式，他估计银河系大约存在 53 万个文明星球。

“奥兹玛”计划

20 世纪 60 年代，美国西弗吉尼亚州西部绿岸镇附近的国家射电天文台开始尝试接收地外文明世界发出的无线电信号。这项工作由美国射电天文学家德雷克组织，于 1960 年 4 月 11 日开始实施，命名为“奥兹玛”计划。“奥兹”是神话中

的一个奇特遥远和难以到达的地方，在那里居住着一位名叫“奥兹玛”的公主。于是它的含义便是“寻找遥远的地外文明”，搜索“外星人”的来电。

他们使用一架口径 26 米的射电望远镜，选择 21 厘米的波长来接收外界信号。这个波长也是有讲究的。我们怎么知道外星人可能用哪个波长呢？物理学家们认为，氢是宇宙中最多的元素，所以按照常理，智慧生物都会对氢元素了如指掌。21 厘米波长是氢原子发出的微波的波长，它可能是被宇宙间一切智慧生物研究得最充分的，又可能是被运用得最成熟的。

德雷克等人首先将射电天线对准了类似太阳的恒星鲸鱼座 τ 星，它距地球 11.9 光年，结果一无所获。之后，他们又把天线对准了波江座 ε 星，起初收到了一个每秒 8 个脉冲的强无线电信号，10 天之后此信号又出现了。但这可不是期待中的“外星人”电报信号。“奥兹玛”计划为期 3 个月，最终未获得任何成功的结果。尽管如此，它毕竟开创了人类寻找地外智慧生命的新纪元。

对于与外星人取得联系的种种困难，德雷克教授指出：“我们就像大海捞针一样要探测整个天空，即使是阿雷西博那么强有力的望远镜，也要指向 2 000 万个方向。”然而直到今天我们只监听了几千个地球附近的星球，并且频率范围也十分有限。

1985 年，美国哈佛大学天体物理学家保罗·霍洛威茨等人开始了一项新的探寻外星人的计划——“太空多通道分析”计划（META）。他们通过 800 多万个不同频率，进行高度自动化探测。令人伤心的是，由于波段增加了上万倍，工作量剧增，覆盖全天一次竟需要 200~400 天。美国、苏联、澳大利亚、加拿大、德国、法国、荷兰等国家先后参加了这一探索计划。

“奥兹玛”计划以后，国际上已提出过多项搜索地外智慧生命计划。大家达成了共识：就像人类的情况一样，生命很有可能产生在地外“太阳系”，因此，探索目标应集中在类似太阳的星球上；1 000~10 000 兆赫是射电望远镜能“听到”的最佳频率范围，这时的本底噪声最低，所以外星人可能会选择这一“微波窗口”的波段进行星际对话。要想同其他星球建立联系，应利用以光速进行传播的电磁波。遗憾的是，所有的努力都没有结果，我们没有接收到任何可以确认为来自外星生命的信号。